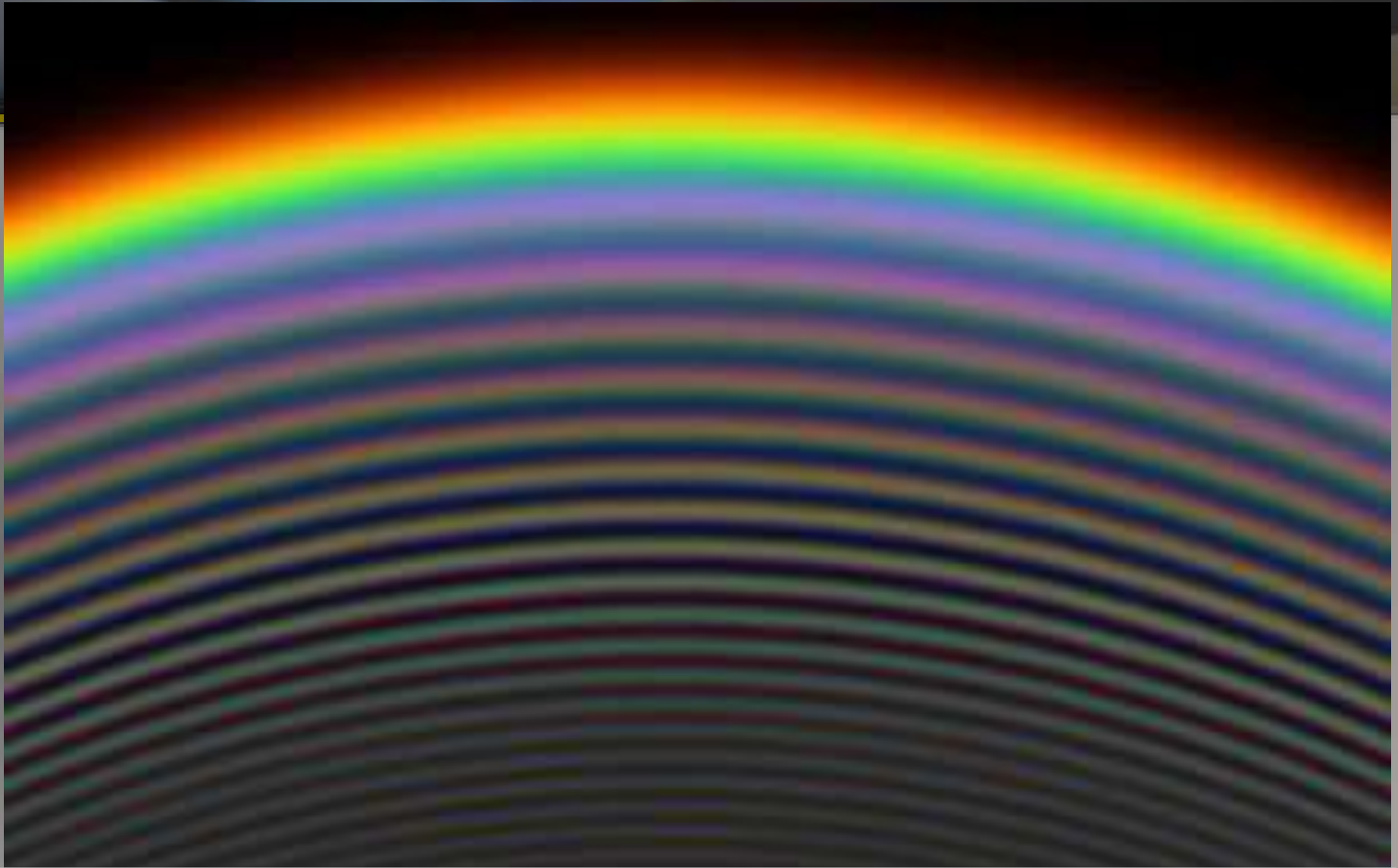




Vlnové vlastnosti světla

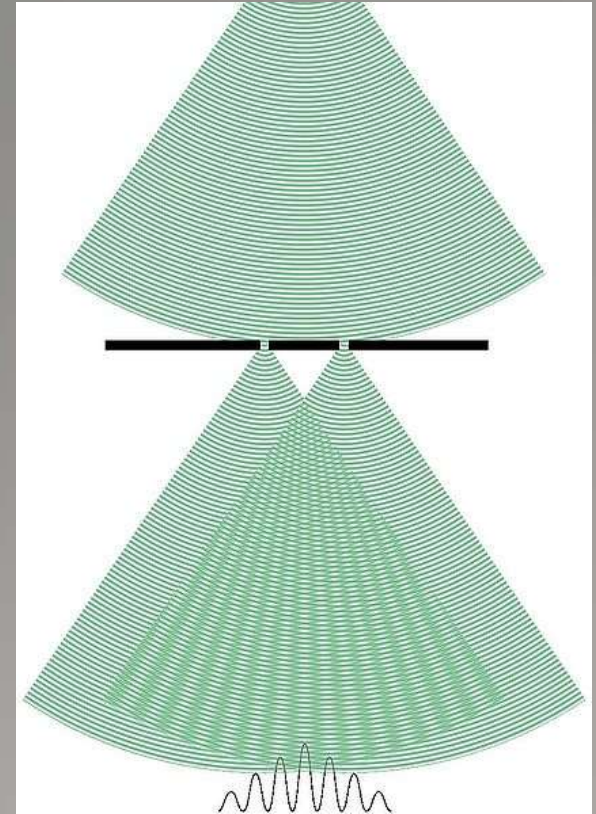
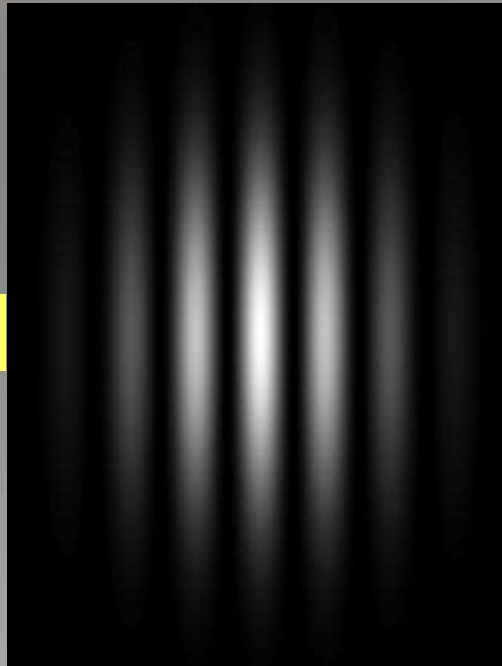


Interference světla

Světlo je vlnění

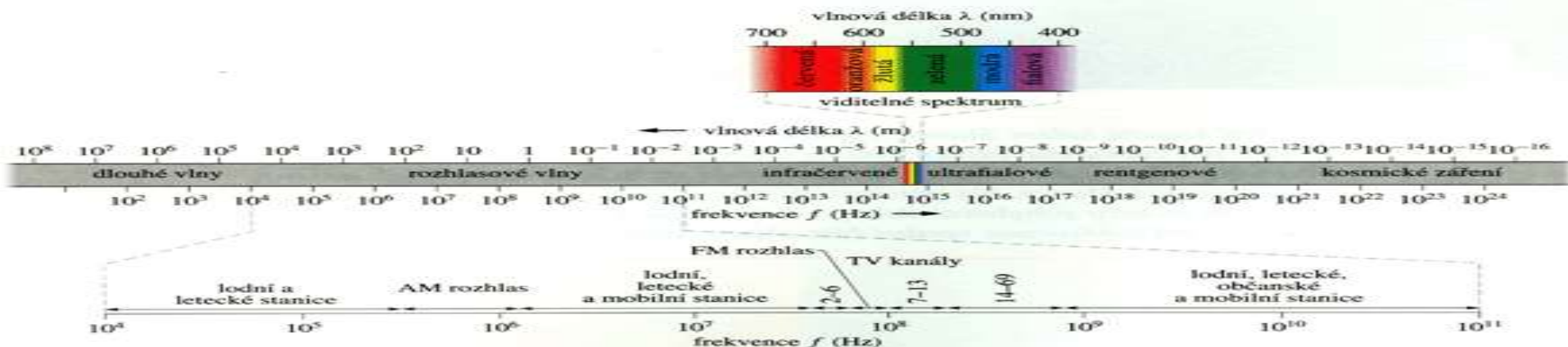
- Vlnovou podstatu světla prokázal až roku 1801 Thomas Young, když pozoroval jeho interferenci (tj. skládání).
- Youngův experiment – interference světla na dvou štěrbinách ([animace](#))

<http://micro.magnet.fsu.edu>



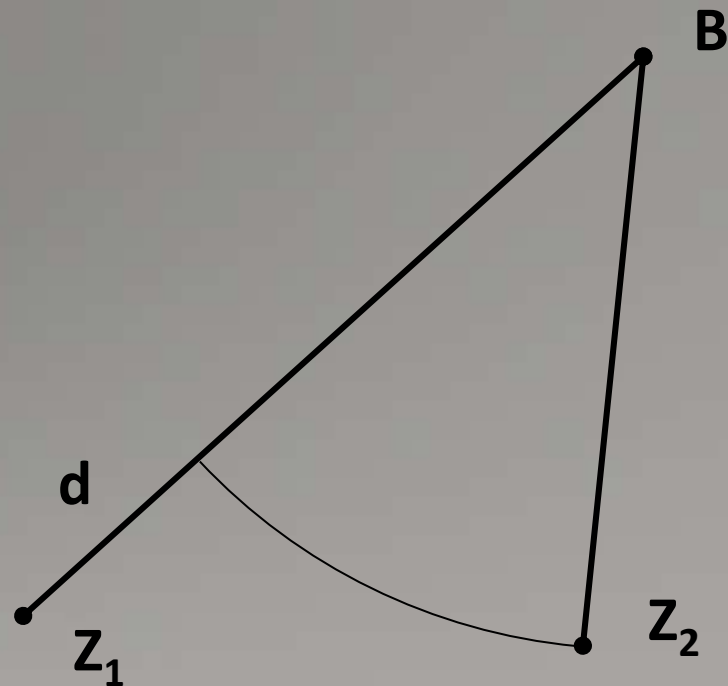
Světlo je elmag. vlnění

- Později bylo prokázáno, že světlo je elektromagnetické vlnění, jehož frekvence je v rozmezí: $3,9 \cdot 10^{14} \text{ Hz} < f < 7,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
- Těm ve vakuu odpovídají vlnové délky: $390 \text{ nm} < \lambda < 760 \text{ nm}$
- Světlo je tedy pouze jednou velmi úzkou částí elektromagnetického spektra.



Interference světla

- Jestliže je světlo vlnění, pak by se mělo skládat, tj. interferovat.
- Jak již víme, závisí výsledek interference dvou totožných vlnění od zdrojů Z_1 a Z_2 v bodě B na tzv. dráhovém rozdílu (d).



Výsledky interference

- Jestliže dráhový rozdíl je roven sudému násobku poloviny vlnové délky, tak se v bodě B setkají dvě světelné vlny se stejnou fází a interferencí se zesilují.

$$d = 2k \frac{\lambda}{2}; k = 0, 1, 2, \dots$$

- Vznikají tak interferenční maxima.

Výsledky interference

- Jestliže dráhový rozdíl je roven lichému násobku poloviny vlnové délky, tak se v bodě B setkají dvě světelné vlny s opačnou fází a interferencí se ruší.

$$d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}; \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

- Vznikají zde tak interferenční minima.

Pozorování interference

- U běžných zdrojů však není vlnová délka světla konstantní, ale rychle se mění.
- V důsledku toho se mění i fázový rozdíl mezi oběma světelnými vlnami, což má za následek tak rychlou změnu interferenčního obrazce, že jej nelze pozorovat.
- Světelná vlnění, která do daného bodu přicházejí s konstantním fázovým rozdílem, nazýváme koherentní.

Koherentní světlo

- Světelná vlnění, která přicházejí do daného bodu s proměnným fázovým rozdílem, se nazývají nekoherentní.
- Zdrojem vysoce koherentního vlnění, které velmi ochotně a viditelně interferuje, je laser.
- Ale i nekoherentní světlo běžných zdrojů může interferovat, **pokud dráhový rozdíl mezi oběma paprsky bude minimální.**

Pozorování interference

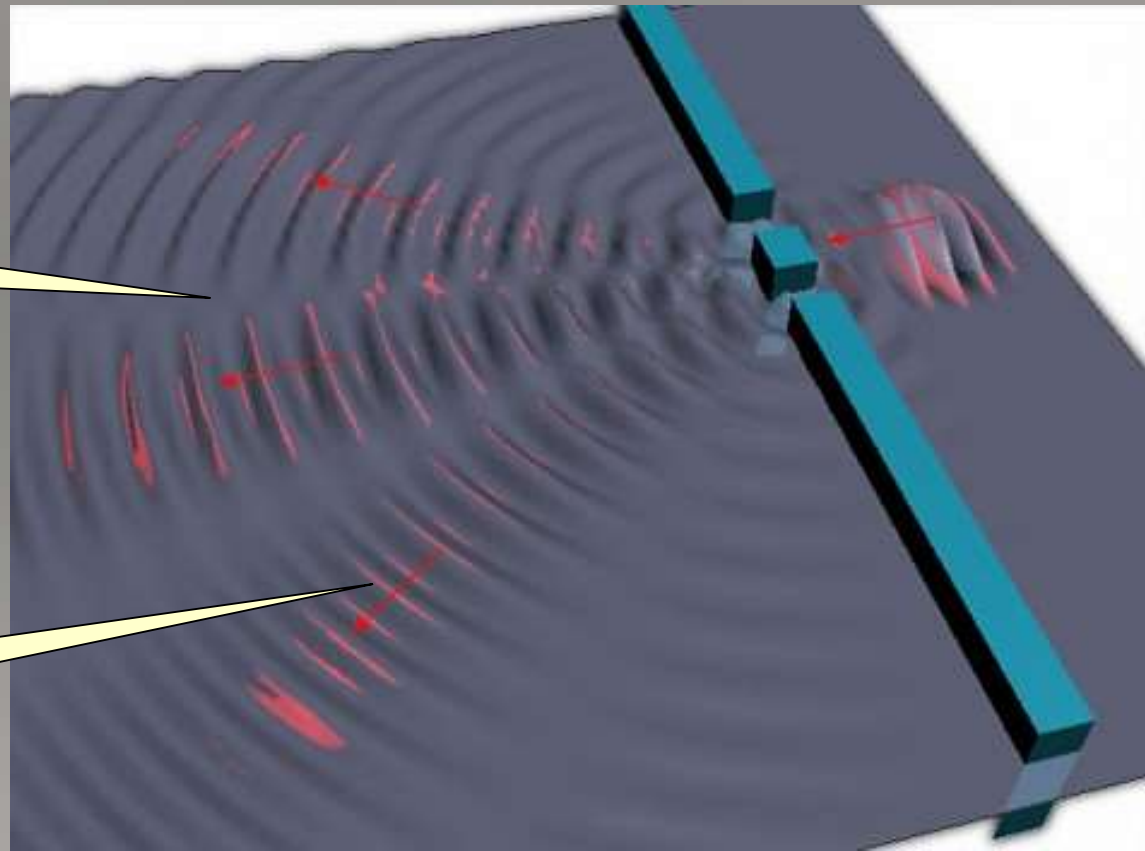
- Interferenci proto můžeme pozorovat:
 - spolu s ohybem na štěrbinách, tenkých drátech, malých otvorech či terčících.
 - interference na tenkých vrstvách
 - Newtonova skla
 - optické mřížky
 - hologramy
 - odraz na malých částicích (peří)

Interference při ohybu - Youngův pokus

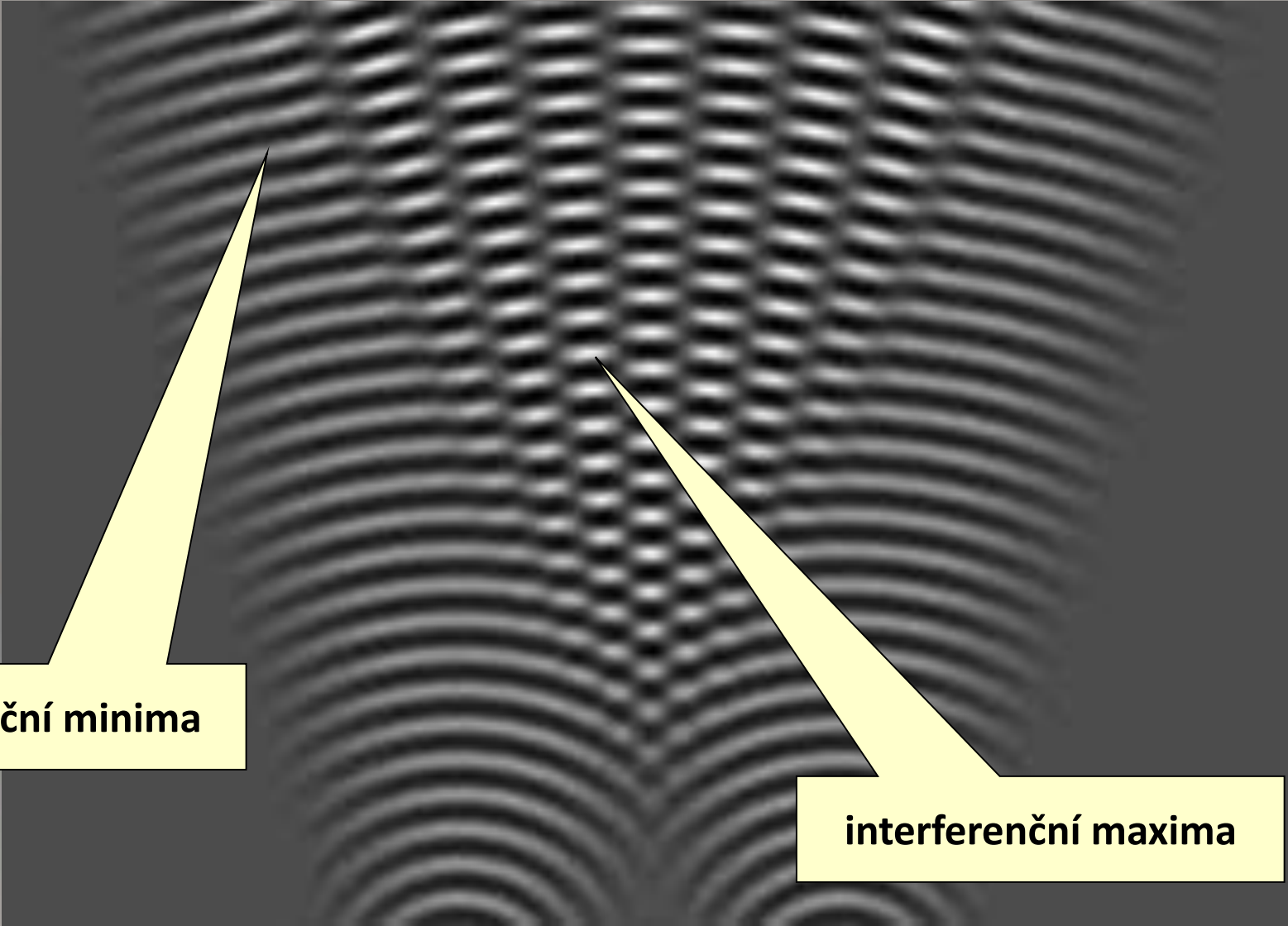
- Každý bod úzké štěrbině se chová jako zdroj světla.
- Do každého bodu na stínítku přicházejí paprsky s minimálním dráhovým rozdílem a ochotně interferují.

interferenční minima

interferenční maxima



Představa interference světla na dvou štěrbinách

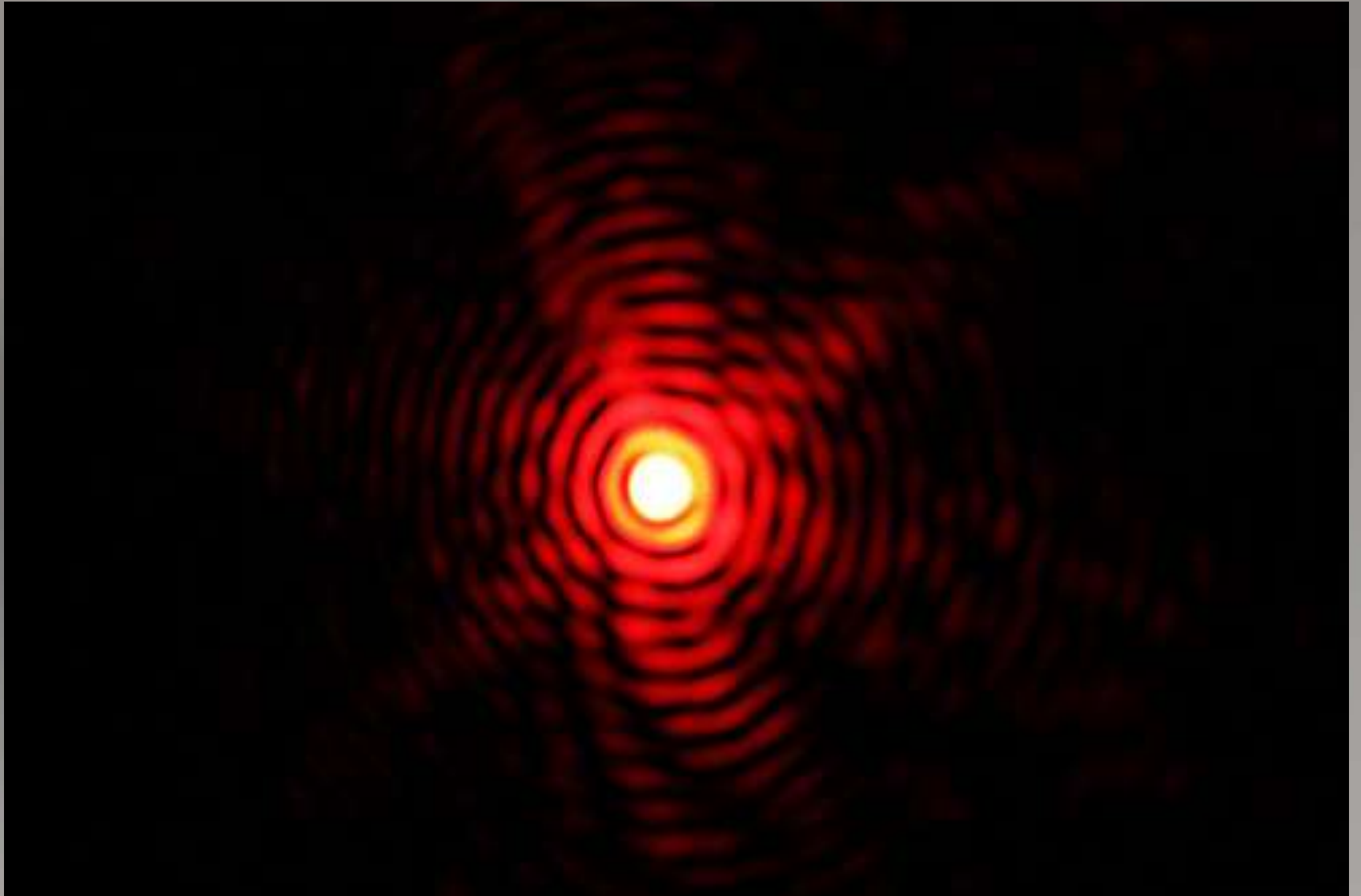


The diagram shows a grayscale interference pattern on a dark background. It consists of a series of horizontal, slightly curved lines. The lines are more densely packed in the center and become more spread out towards the edges. The lines alternate between lighter and darker shades, representing the intensity of the light. Two yellow arrows point from text boxes to specific features: one points to a dark line on the left, and the other points to a bright line on the right.

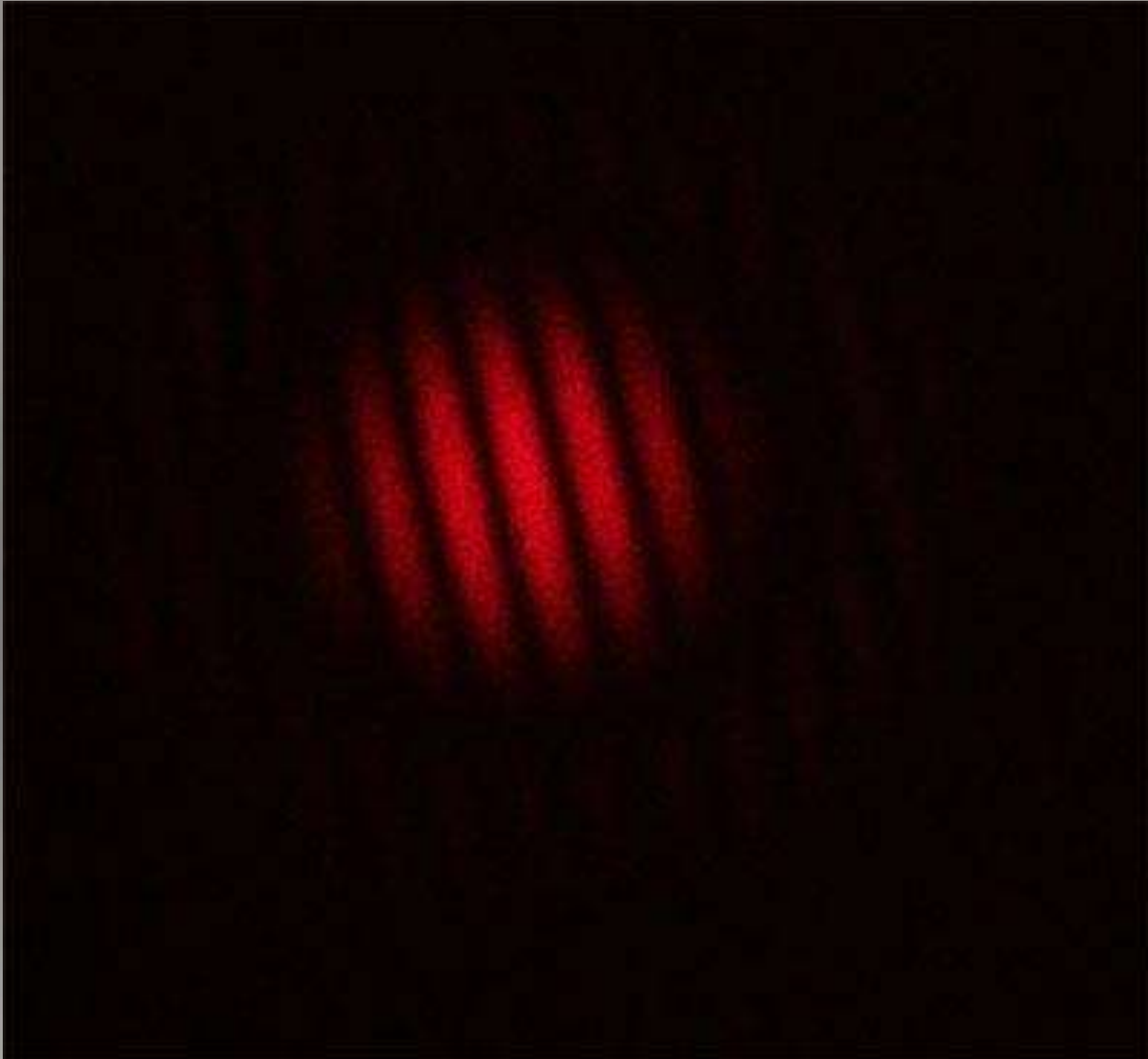
interferenční minima

interferenční maxima

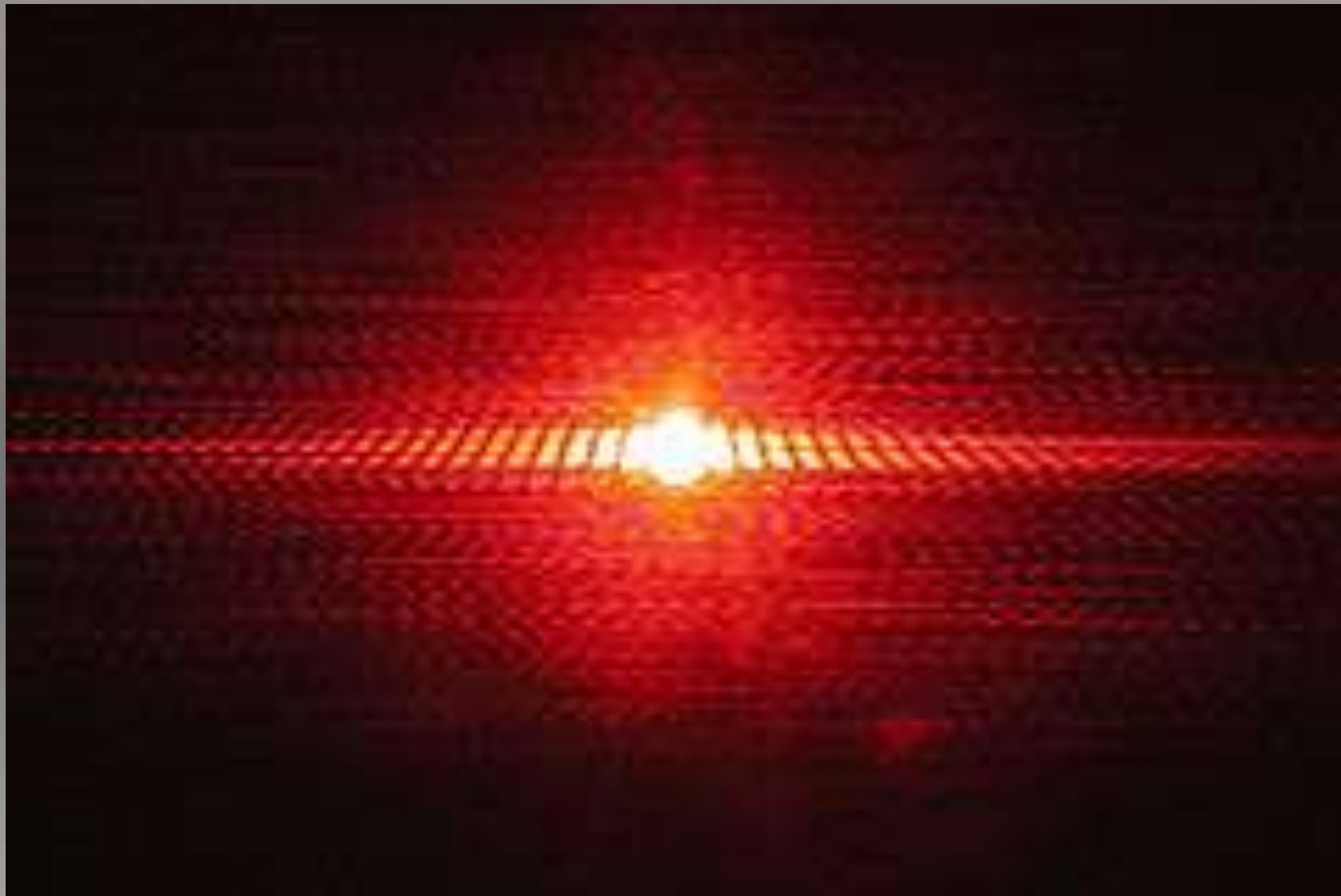
Interference na kruhovém otvoru



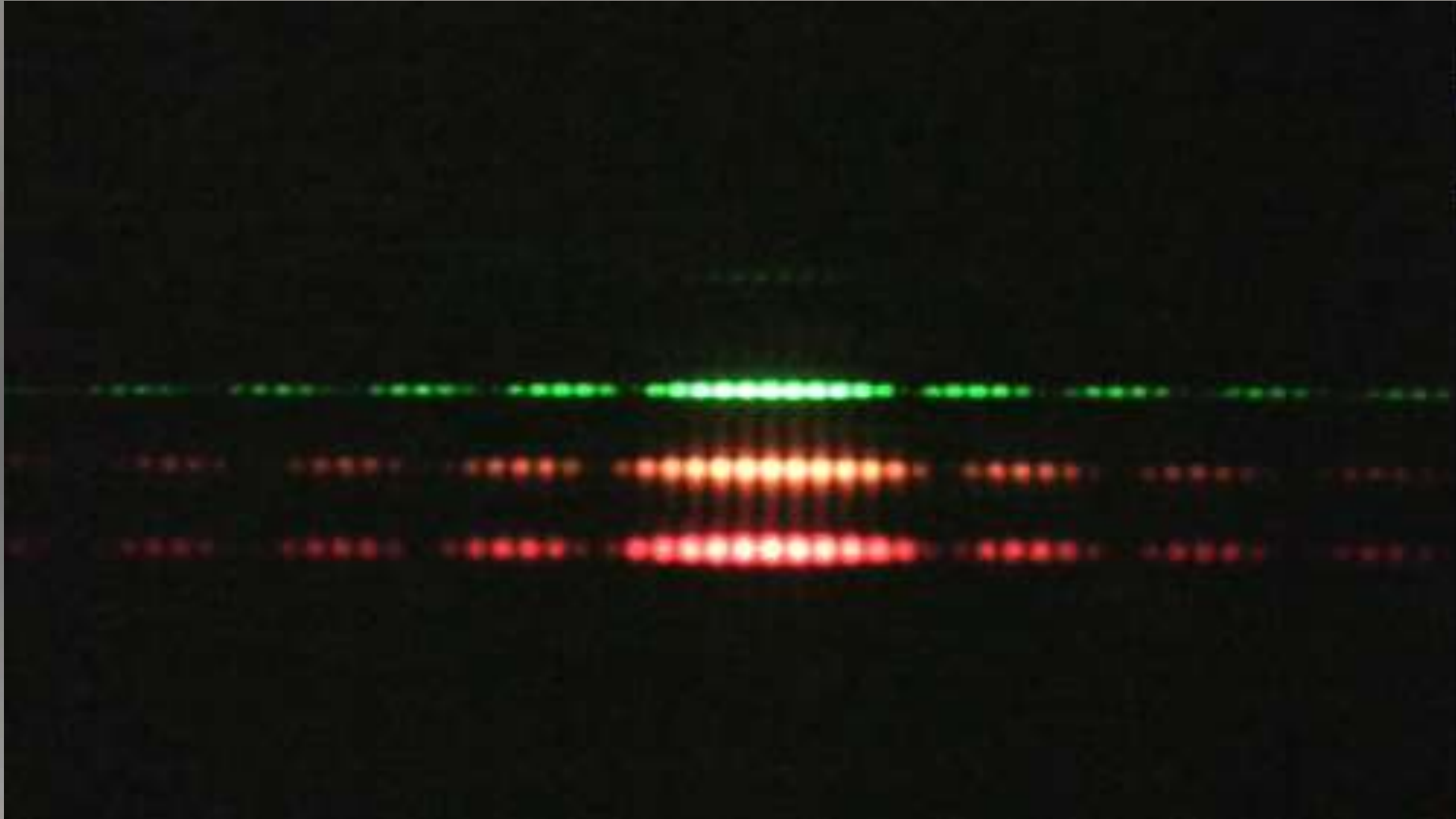
Interference na dvou kruhových otvorech



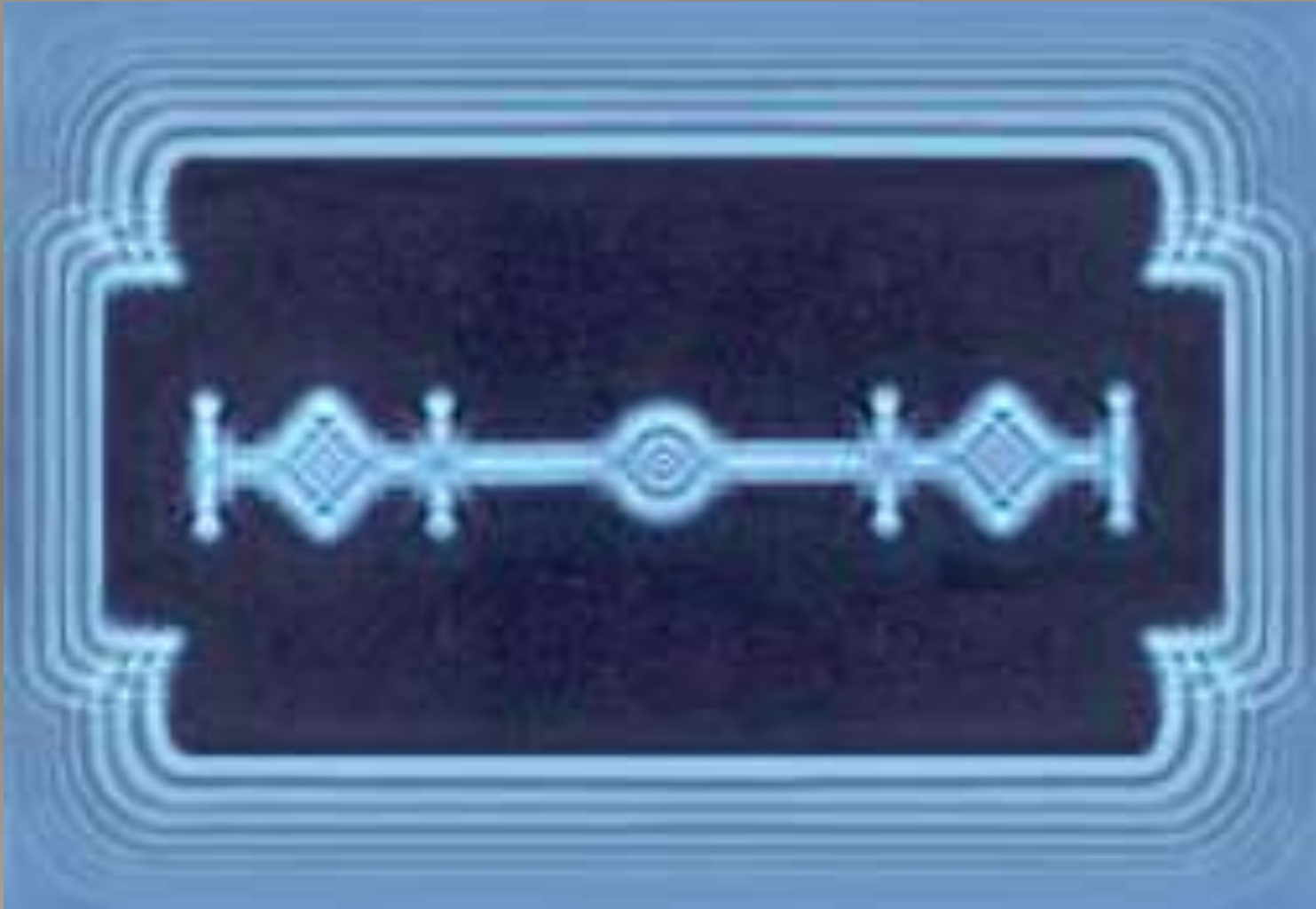
Interference na štěrbině



Interference na štěrbině

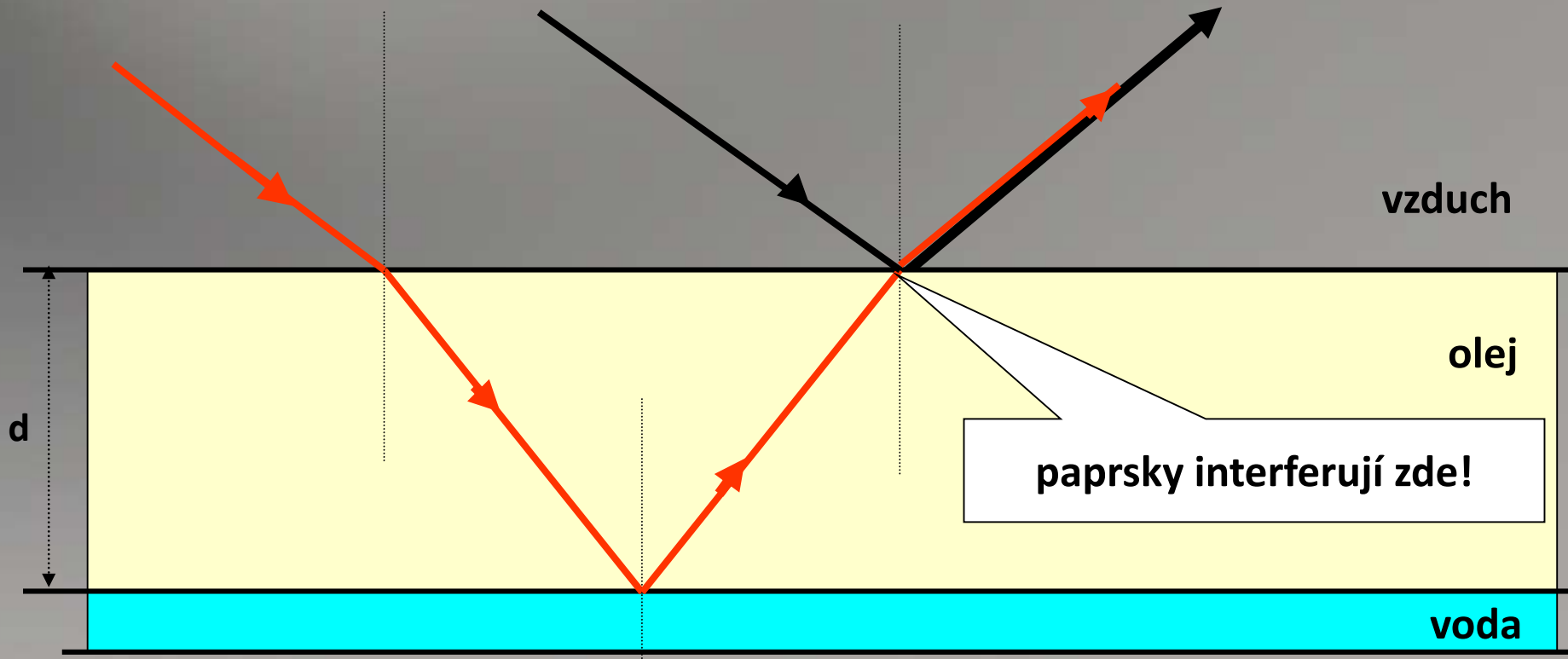


Interference kolem žiletky



Interference na tenkých vrstvách

- interference na tenkých vrstvách (např. olej na vodě)
- Interferuje paprsek odražený od rozhraní olej-voda s paprskem odraženým na rozhraní vzduch-olej...



Podmínka interference

- Interferencí se zesílí ta barva (vlnová délka), která splňuje tuto podmínku:

$$2nd = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}; k = 0, 1, 2, \dots$$

index lomu

tloušťka vrstvy

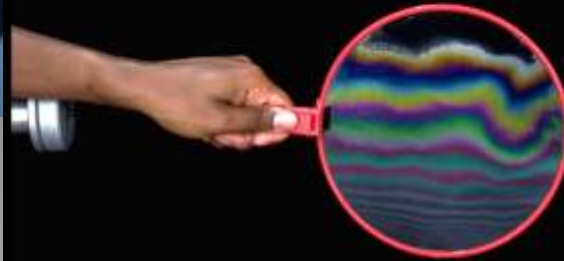
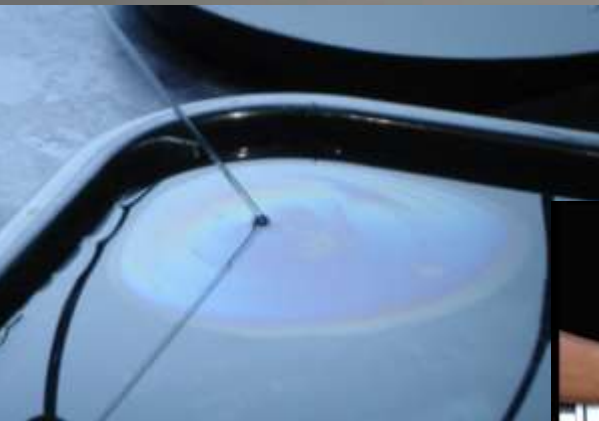
vlnová délka

- Interferencí se vyruší ta barva (vlnová délka), která splňuje tuto podmínku:

$$2nd = 2k \frac{\lambda}{2}; k = 0, 1, 2, \dots$$

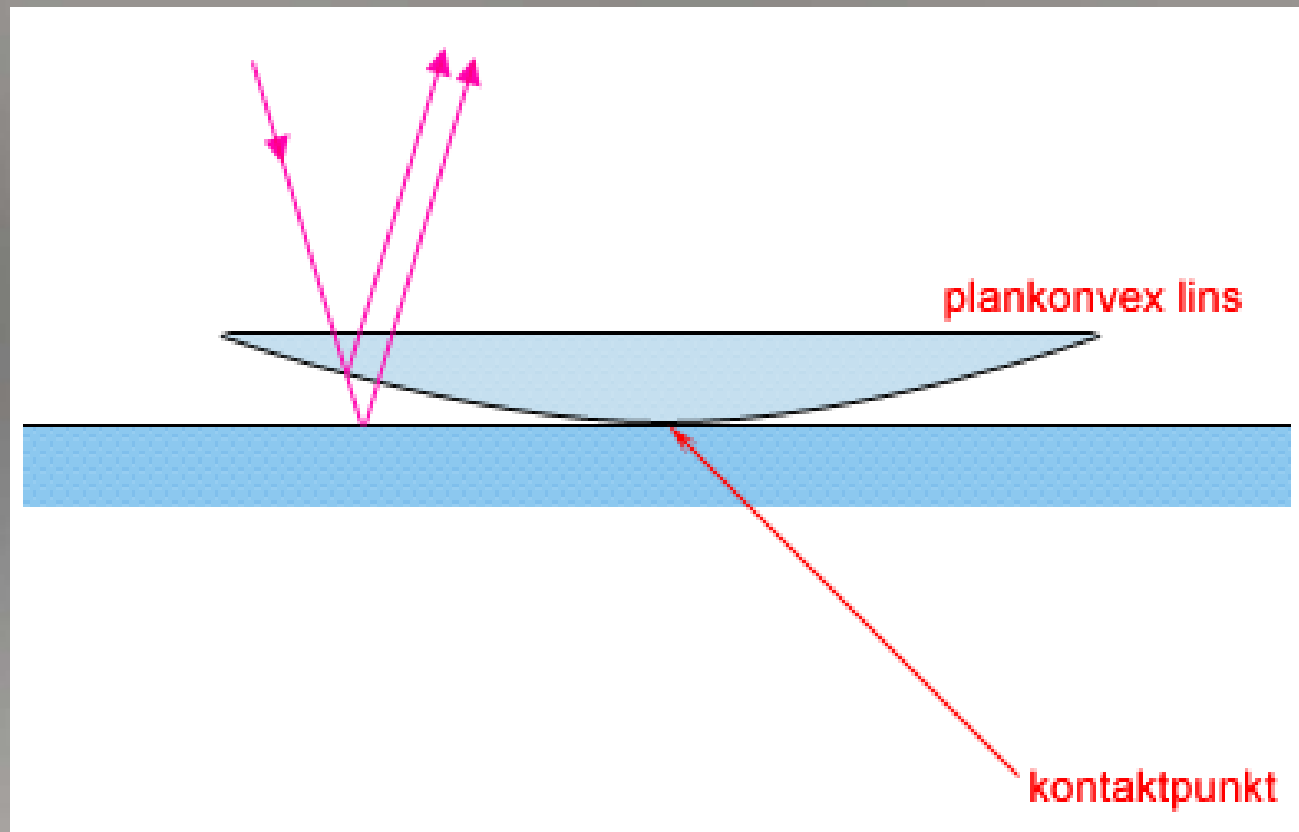
Využití:

- Tenká vrstva nanesená na skle způsobí to, že jedna barva se interferencí vyruší, a proto se např. brýlová skla tolik nelesknou.
- Vytváření různě zbarvených ploch.



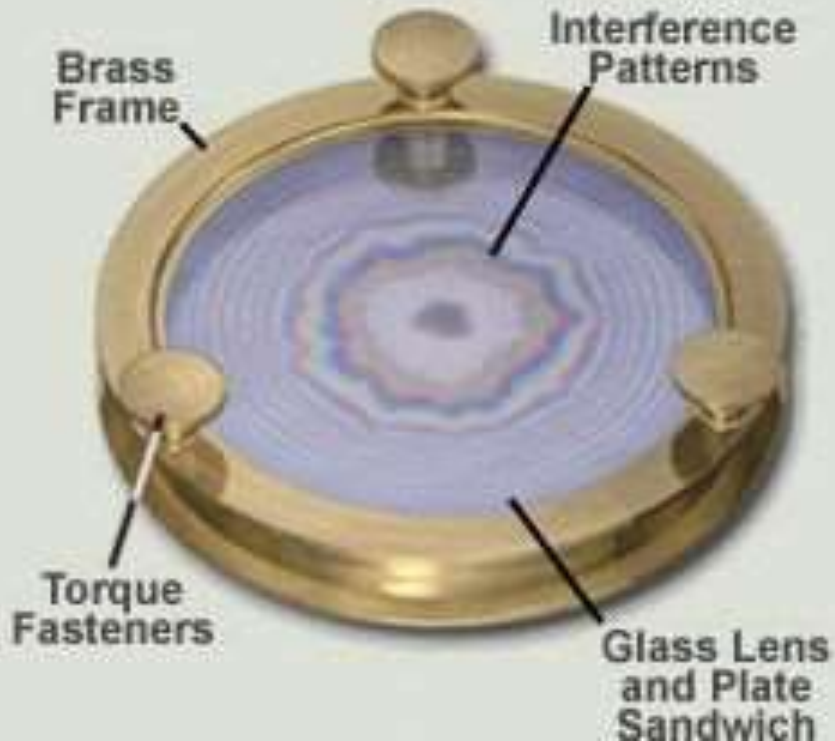
Newtonova skla

- Čočka přitisknutá na rovinnou skleněnou desku, interferují paprsky odražené na kulové ploše čočky s paprsky odraženými od skleněné desky.



Newtonova skla

- V bílém světle vznikne interferenční obrazec v podobě různobarevných kroužků, a ve světle monochromatickém systém kroužků tmavých a světlých.



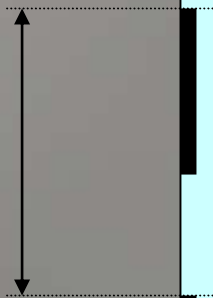
Optické mřížky

- Optická mřížka je tenká skleněná destička, na níž je diamantovým nástrojem zhotoven systém rovnoběžných velmi blízkých vrypů.
- Světlo pak může procházet pouze neporušeným sklem; vryp světlo nepropouští.
- Vzdálenost dvou sousedních vrypů se nazývá mřížková konstanta (b).
- Převrácenou hodnotu mřížkové konstanty je počet vrypů na 1 m (N).
- Běžné optické mřížky mají i stovky vrypů na 1 mm.

Optická mřížka

vrypem světlo neprochází

b



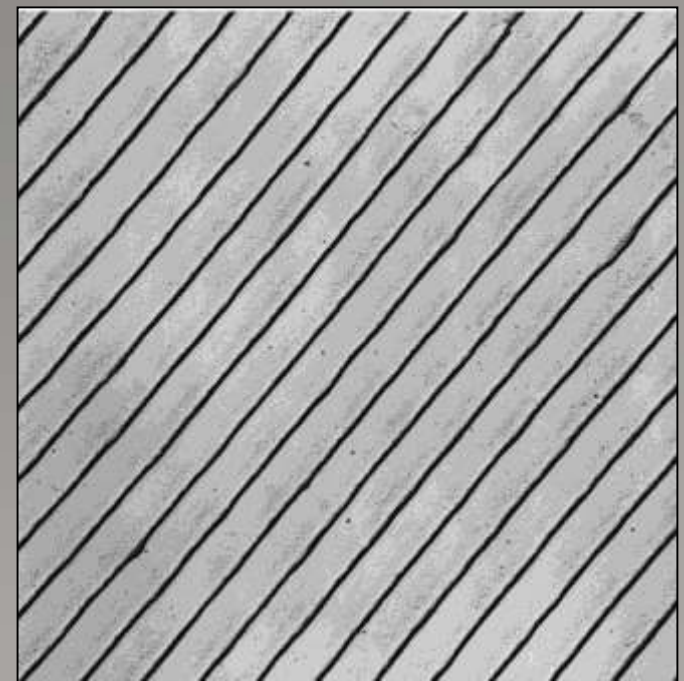
mřížková konstanta

$$b = \frac{1}{N}$$

počet vrypů na 1 m

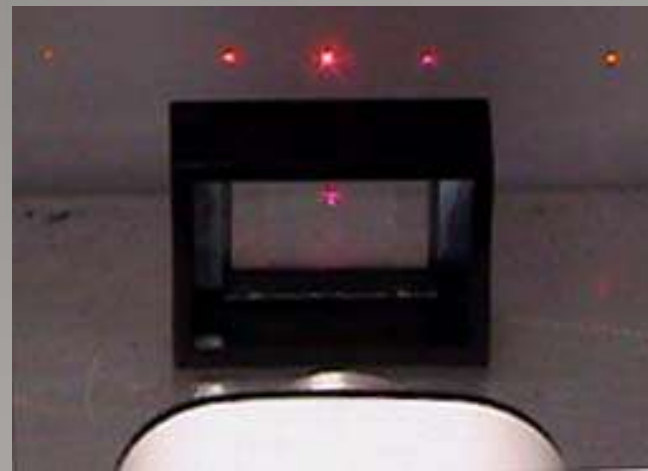
Optická mřížka

- Na optické mřížce dochází k silnému ohybu světla, v důsledku čehož do každého bodu na stínítku dopadají paprsky ze všech štěrbin.
- Protože dráhové rozdíly mezi nimi jsou velmi malé, tak interferují.



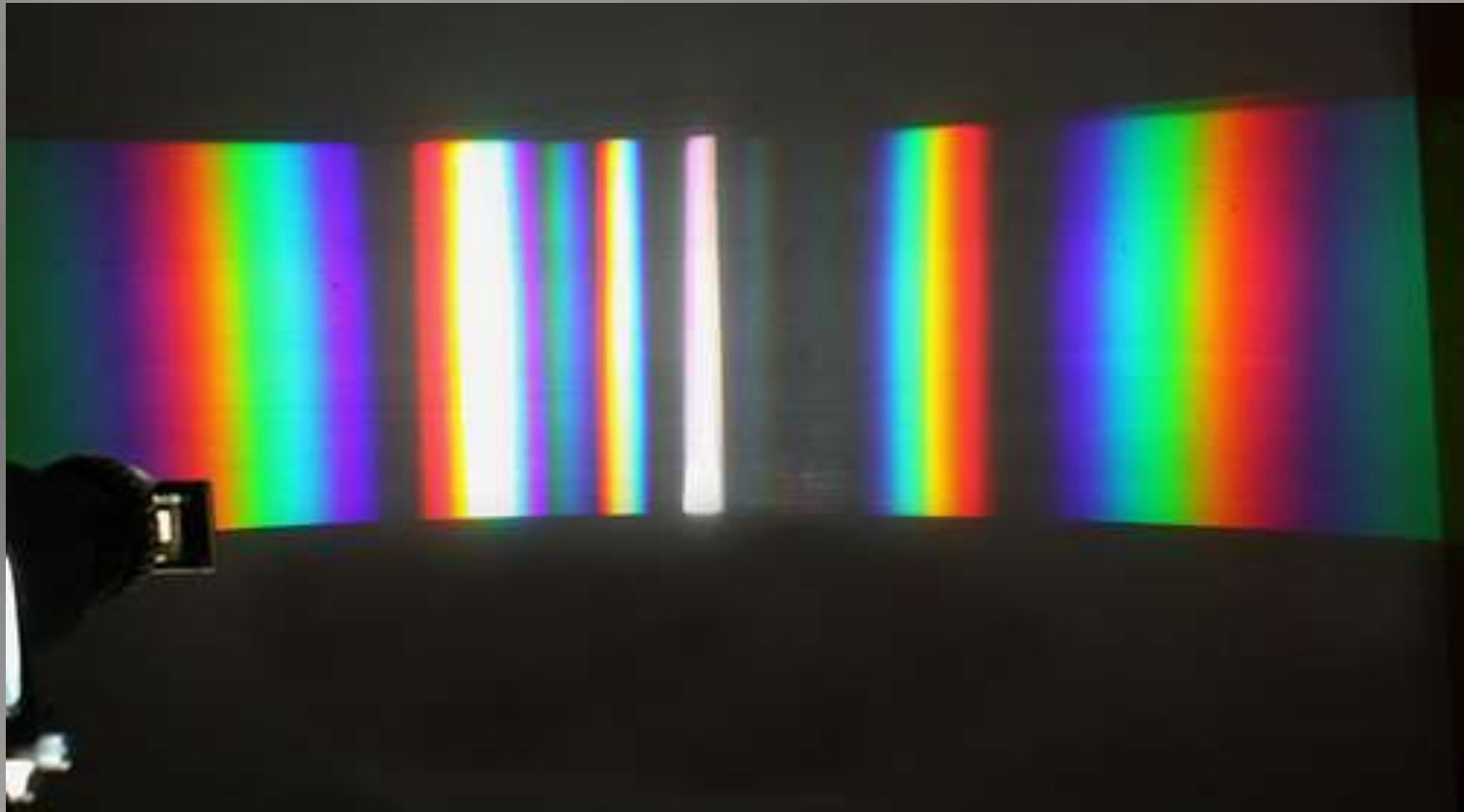
Optická mřížka

- Osvětlíme-li mřížku monochromatickým světlem, např. laseru, pozorujeme systém jednobarevných interferenčních maxim.



Optická mřížka

- Osvětlíme-li mřížku bílým světlem, tak vzniká systém vzájemně posunutých interferenčních maxim každé barvy, tj. spektrum.



- Mřížkové spektrum má barvy v opačném pořadí než spektrum vytvořené hranolem.

Optická mřížka - odvození

- Podmínka, která musí být splněna aby se interferenční maximum odchýlilo o úhel α :

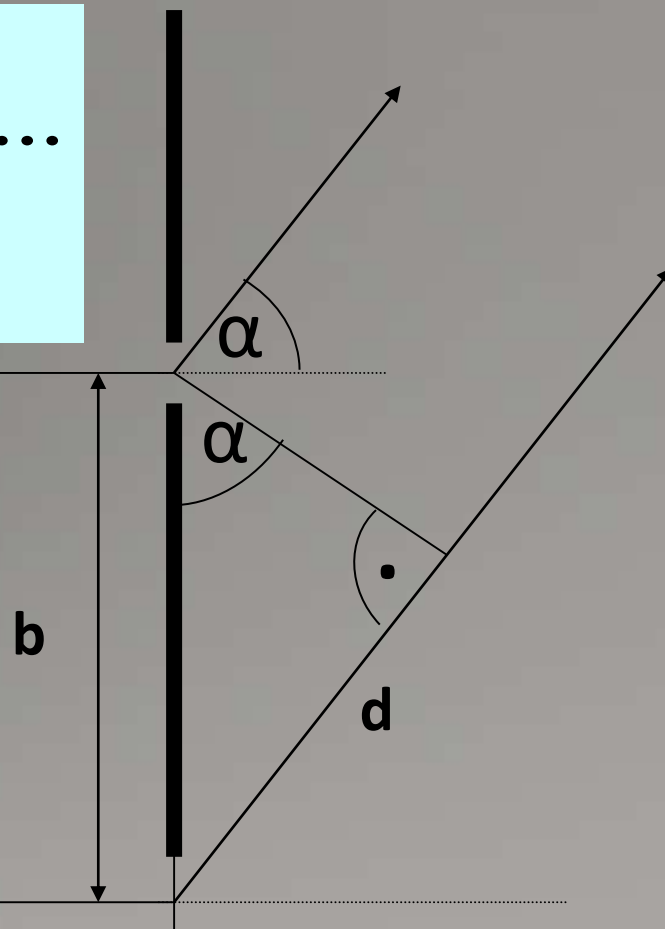
$$d = 2k \frac{\lambda}{2}; \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$d = b \sin \alpha$$

$$b \sin \alpha = k \lambda$$

$$\sin \alpha = N k \lambda$$

k...číslo interferenčního maxima



$k=2$

$k=1$

$k=0$

$k=1$

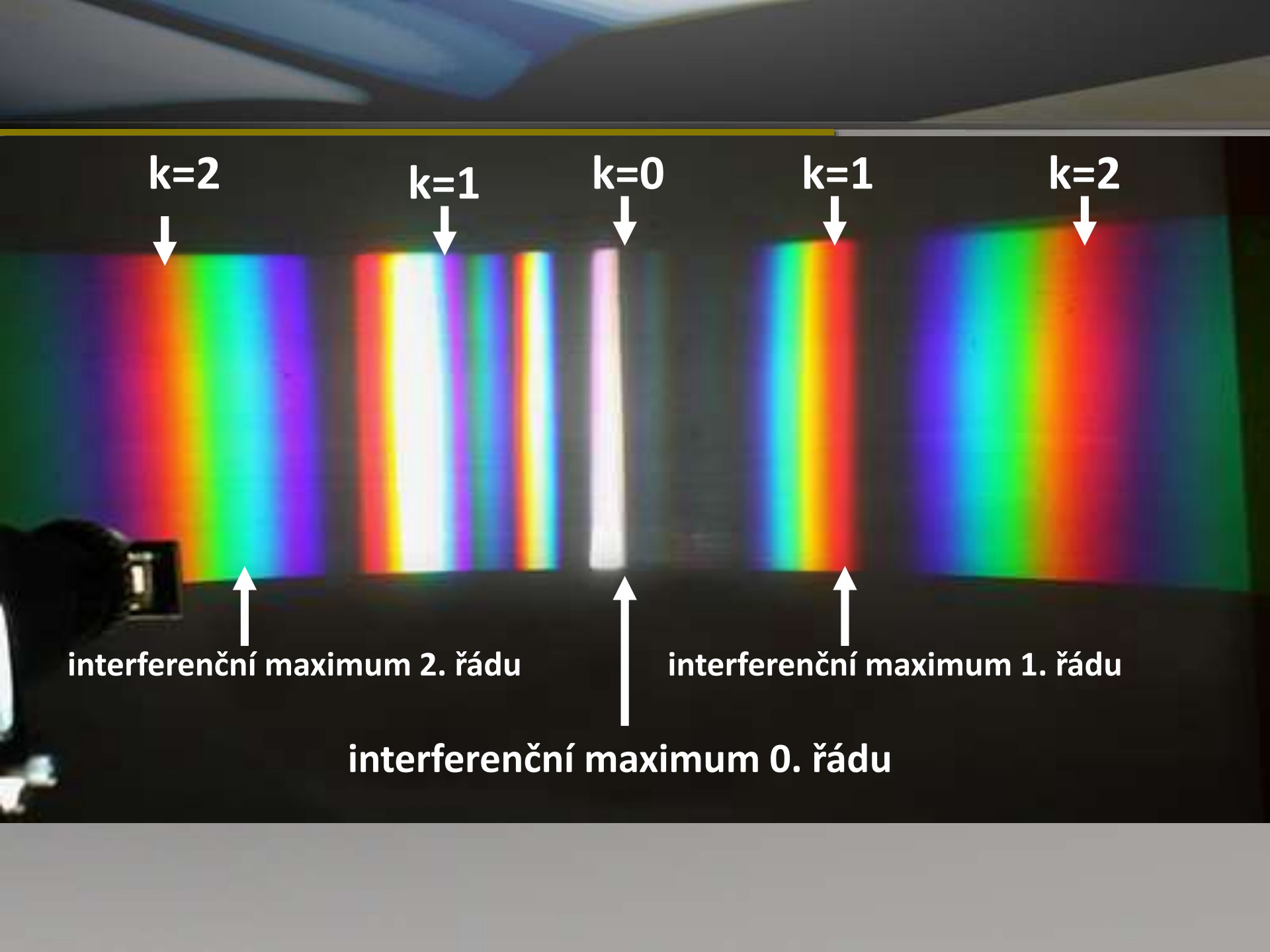
$k=2$



interferenční maximum 1. řádu

interferenční maximum 2. řádu

interferenční maximum 0. řádu



$k=2$



$k=1$



$k=0$



$k=1$



$k=2$



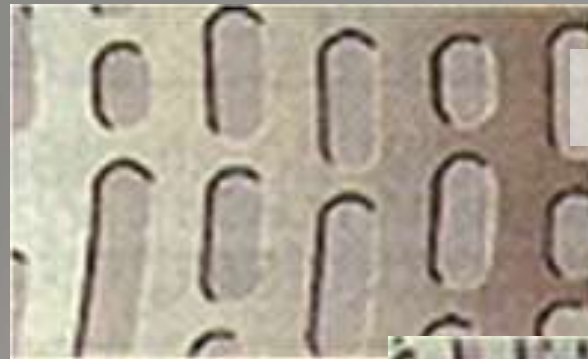
interferenční maximum 2. řádu

interferenční maximum 1. řádu

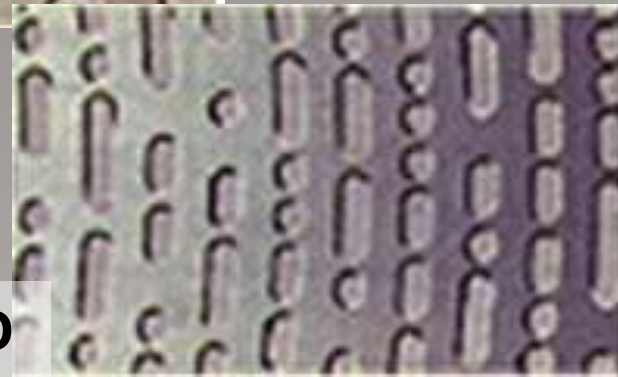
interferenční maximum 0. řádu

Interference na optických discích (CD, DVD)

- Disk obsahuje kovovou folii, v níž je informace zaznamenaná pomocí drobných prohlubní (resp. bublinek), které jako drobná „zrcátka“ odrážejí světlo do našeho oka, kde interferuje.



CD



DVD

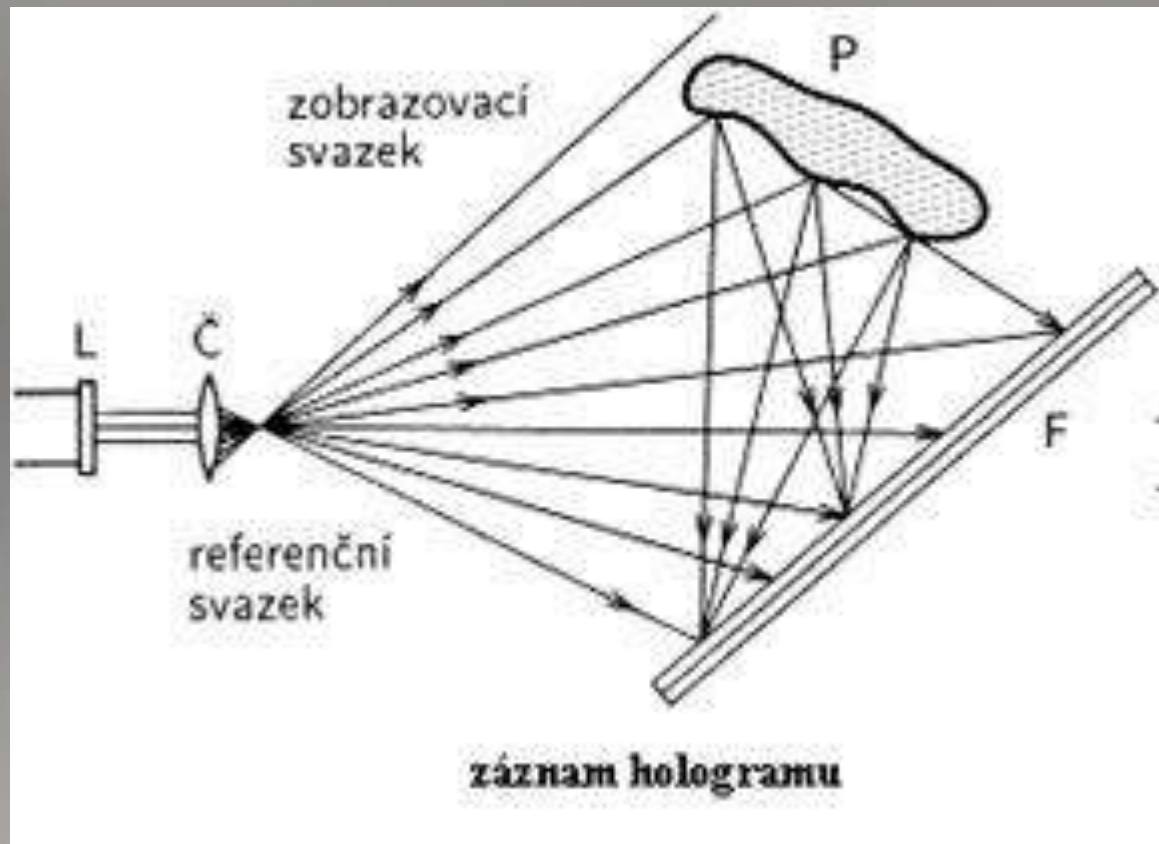
Interference na hologramech

- I hologram obsahuje kovovou folii, do níž jsou velmi hustě vylisovány drážky, které opět jako „zrcátka“ odrážející světlo do našeho oka.
- Výsledkem je opět interferenční obrazec, jehož barvy se s pohybem hologramu mění.
- Protože hologramy nelze na kopírce zkopírovat, používají se jako ochranné prvky např. na bankovkách.
- Hologramem (od řeckého holos – celý) však rozumíme i trojrozměrné obrazy.



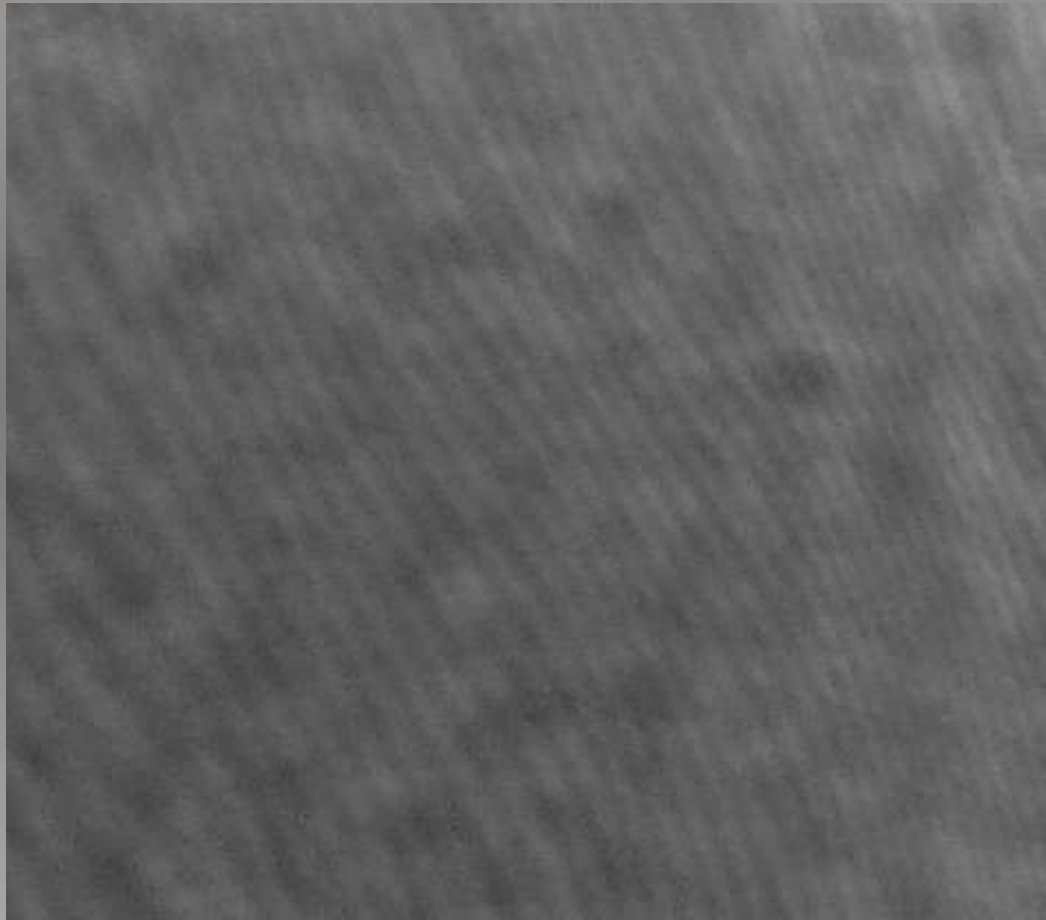
Vznik hologramu

- Na fotografickou desku dopadá koherentní světlo laseru jednak odražené od zobrazovaného předmětu, jednak od zrcadla (tzv. referenční svazek).



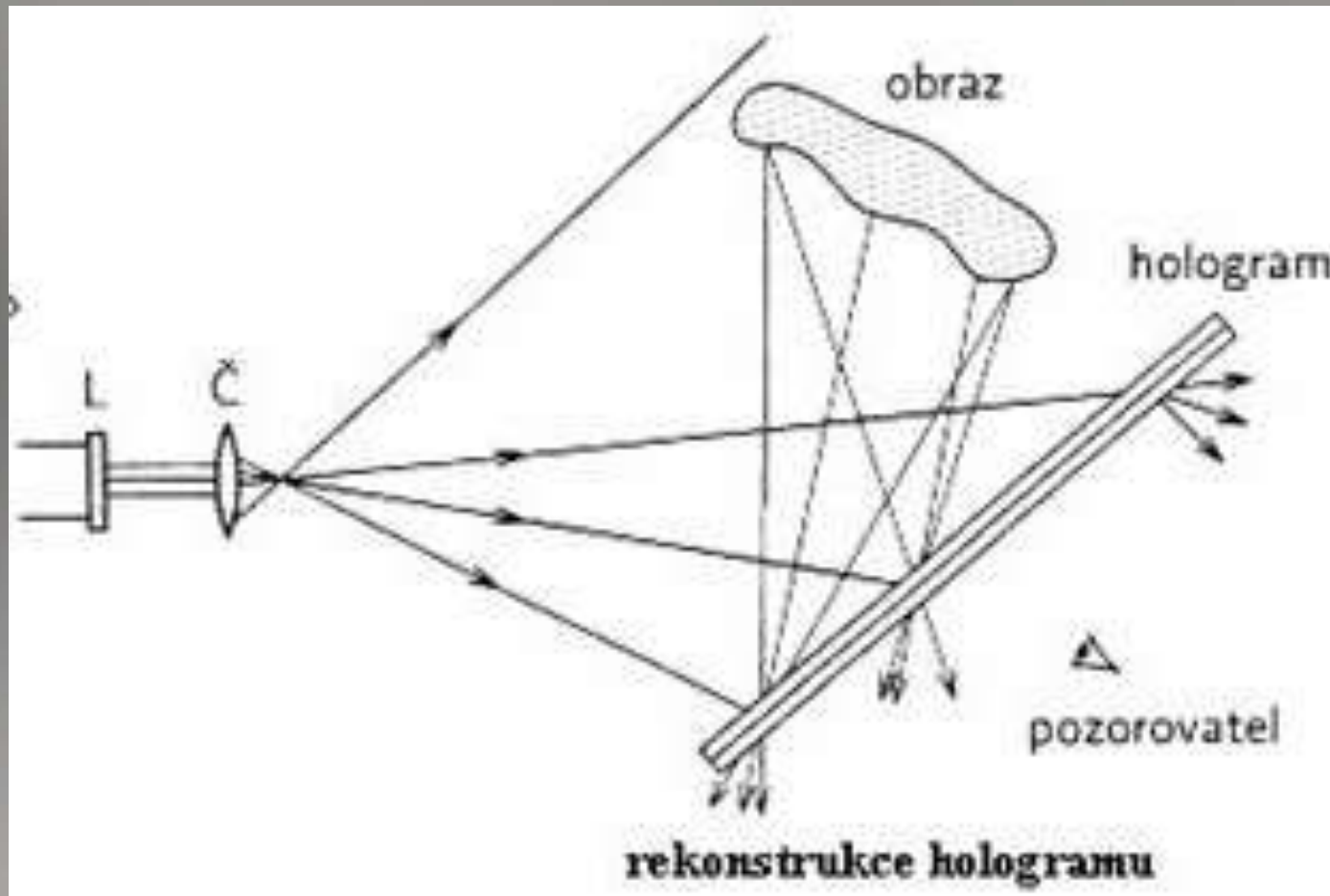
Vznik hologramu

- Na desce dojde k jejich interferenci. Po vyvolání se objeví interferenční obrazce, které vůbec nepřipomínají zobrazovaný předmět.



Rekonstrukce hologramu

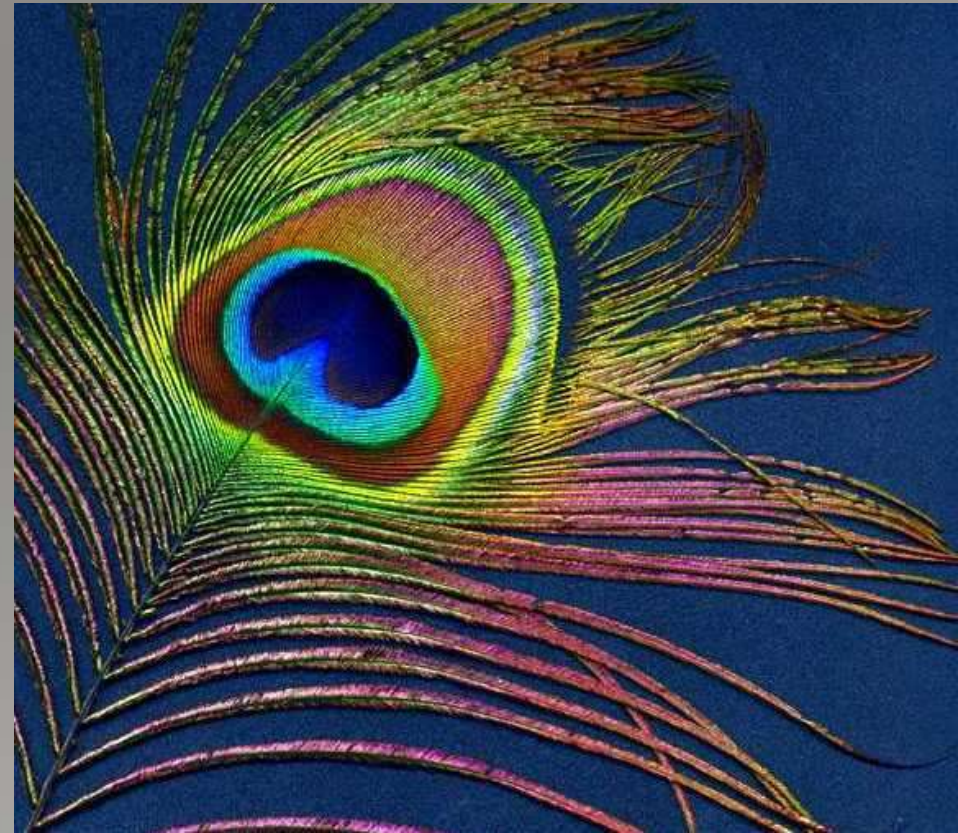
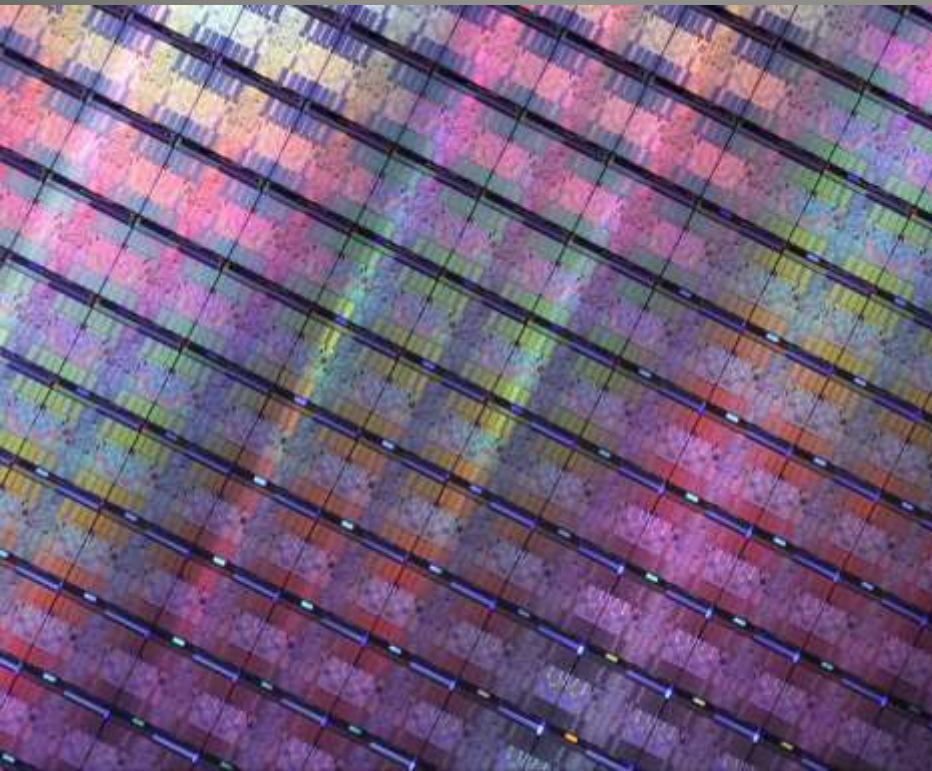
- Avšak když hologram osvětlíme tímž koherentním světlem, objeví se trojrozměrný obraz předmětu.

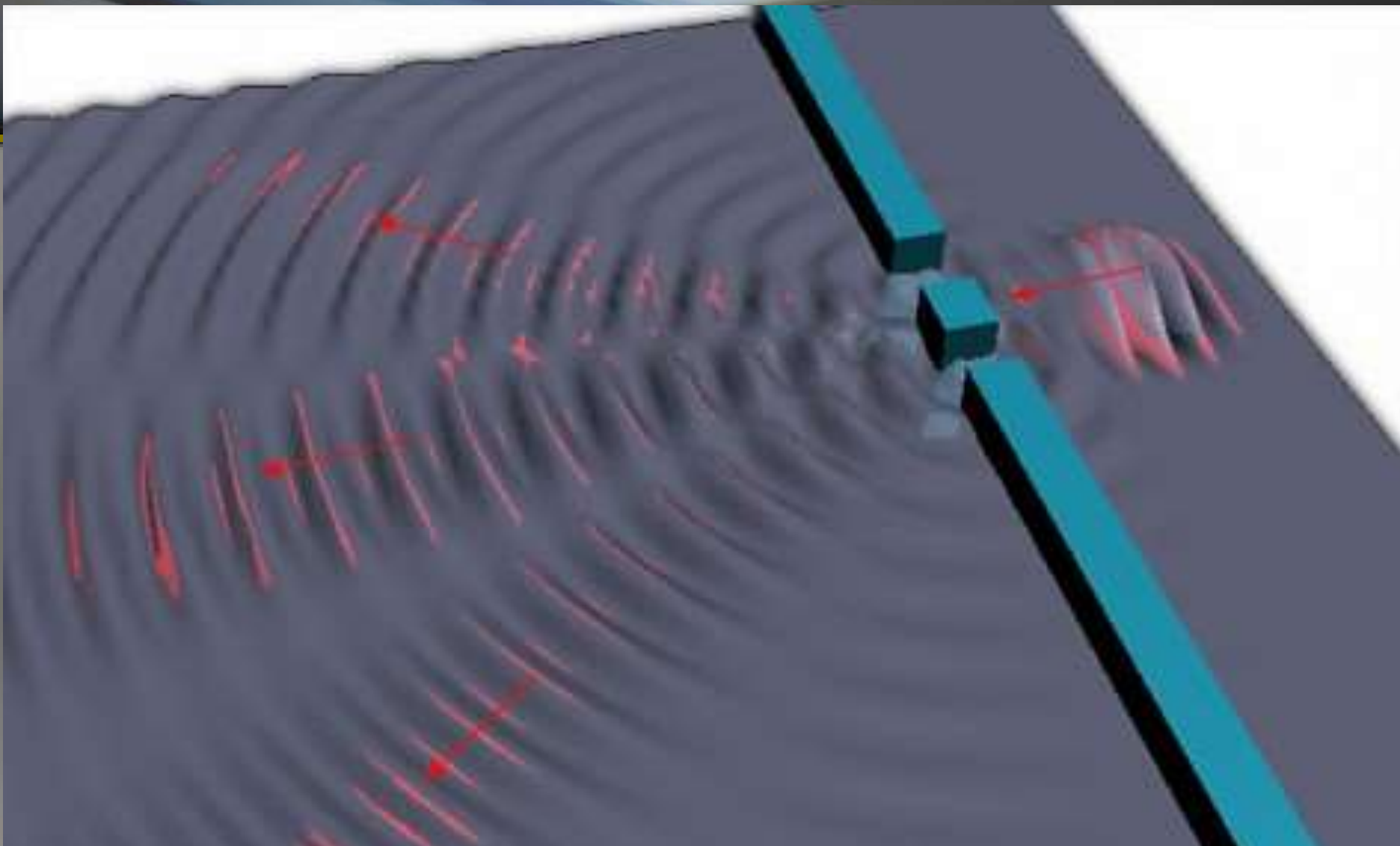




Interference světla odraženého od drobných částíček

- vzniká na peří ptáků či křídlech motýlů, stejně jako odrazem od mikroskopických struktur integrovaný obvodů má za následek jejich proměnlivé zbarvení.





Ohyb světla

Ohyb vlnění

- Ohybem vlnění rozumíme jeho schopnost pronikat za překážky.
- Vlnění se tedy ne vždy musí šířit přímočaře.



ohyb mořských vln

Ohyb mořských vln

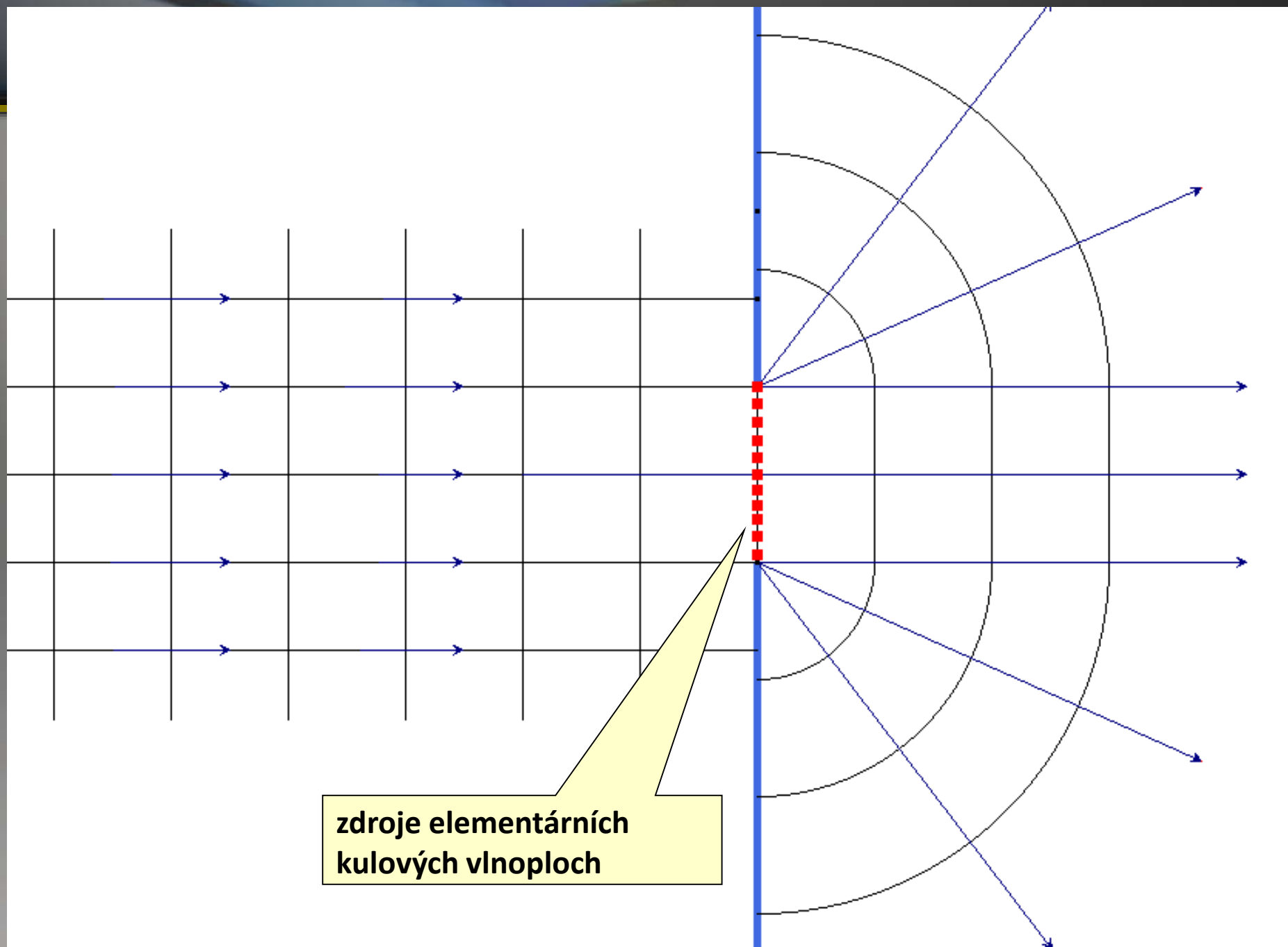


Ohyb světla

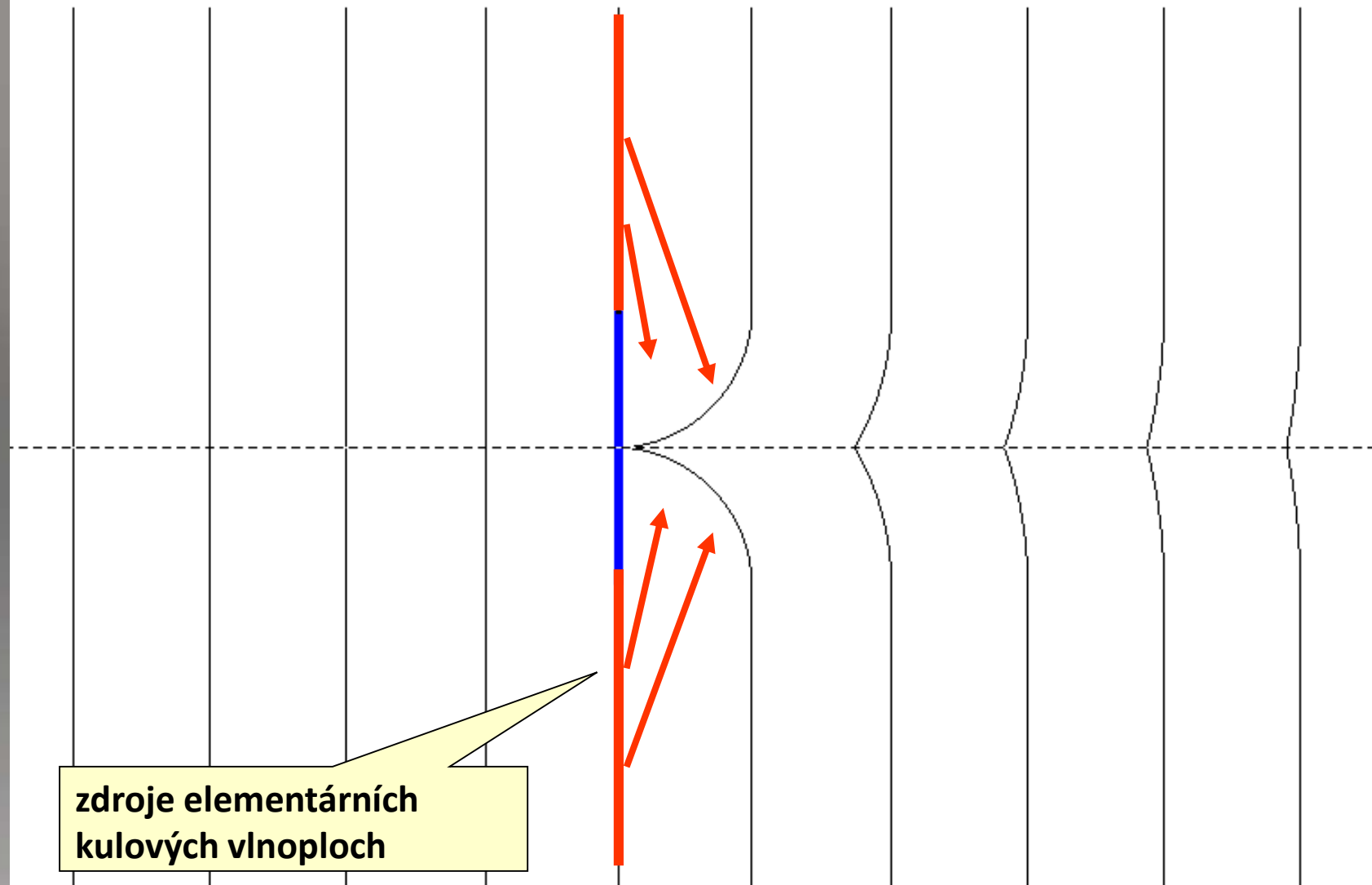
- V případě extrémně krátkovlnných světelných vln ($\lambda \sim 0,1 \mu\text{m}$) je však tato jejich schopnost poměrně slabá.
- Abychom tento jev mohli pozorovat, musí mít překážka rozměry srovnatelné s vlnovou délkou světla.
- V praxi se jedná o úzké štěrby, tenké dráty, malé kruhové otvory či terčíky.
- Pozn.: Ohyb světla je v praxi provázen interferencí.

Ohyb světla

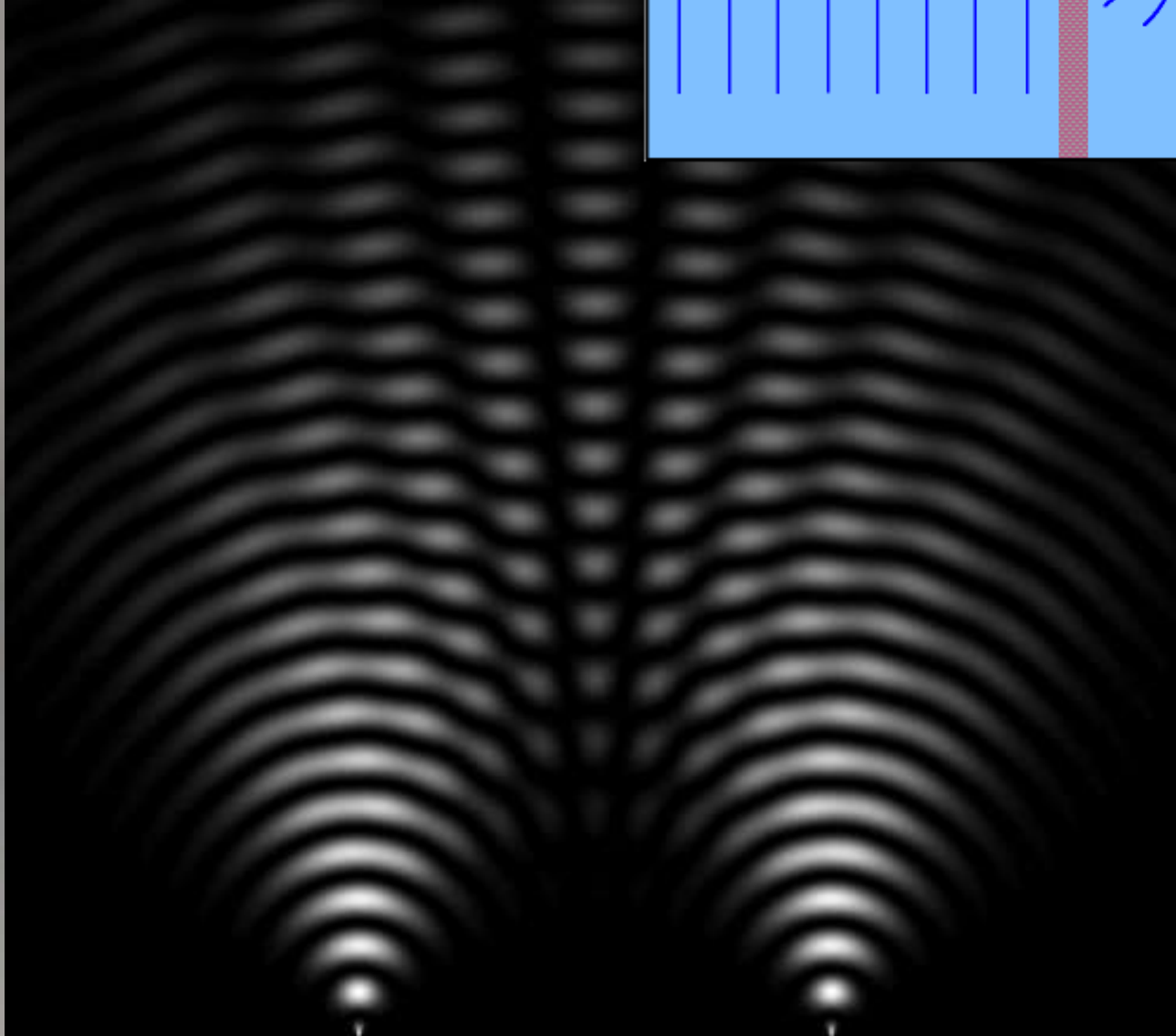
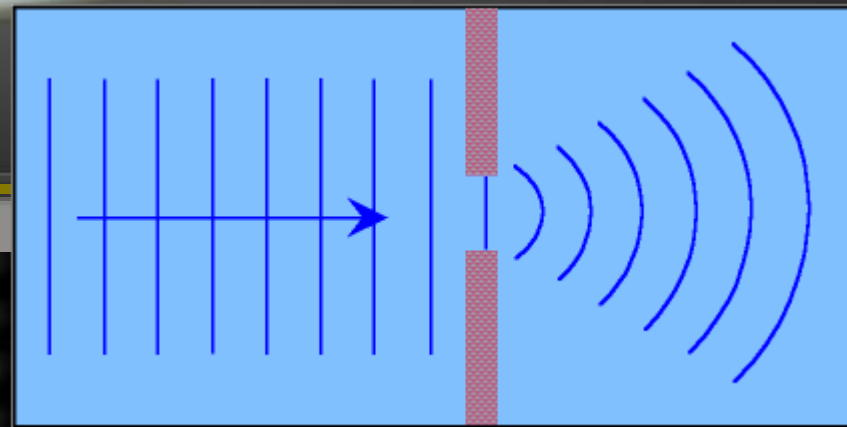
- Ohyb vysvětluje Huygensův princip.
- Dospěje-li světlo do štěrbin, tak se všechny její body stávají zdroji světla,...
- z nichž se již světelné paprsky šíří všemi směry, tj. i za překážku.



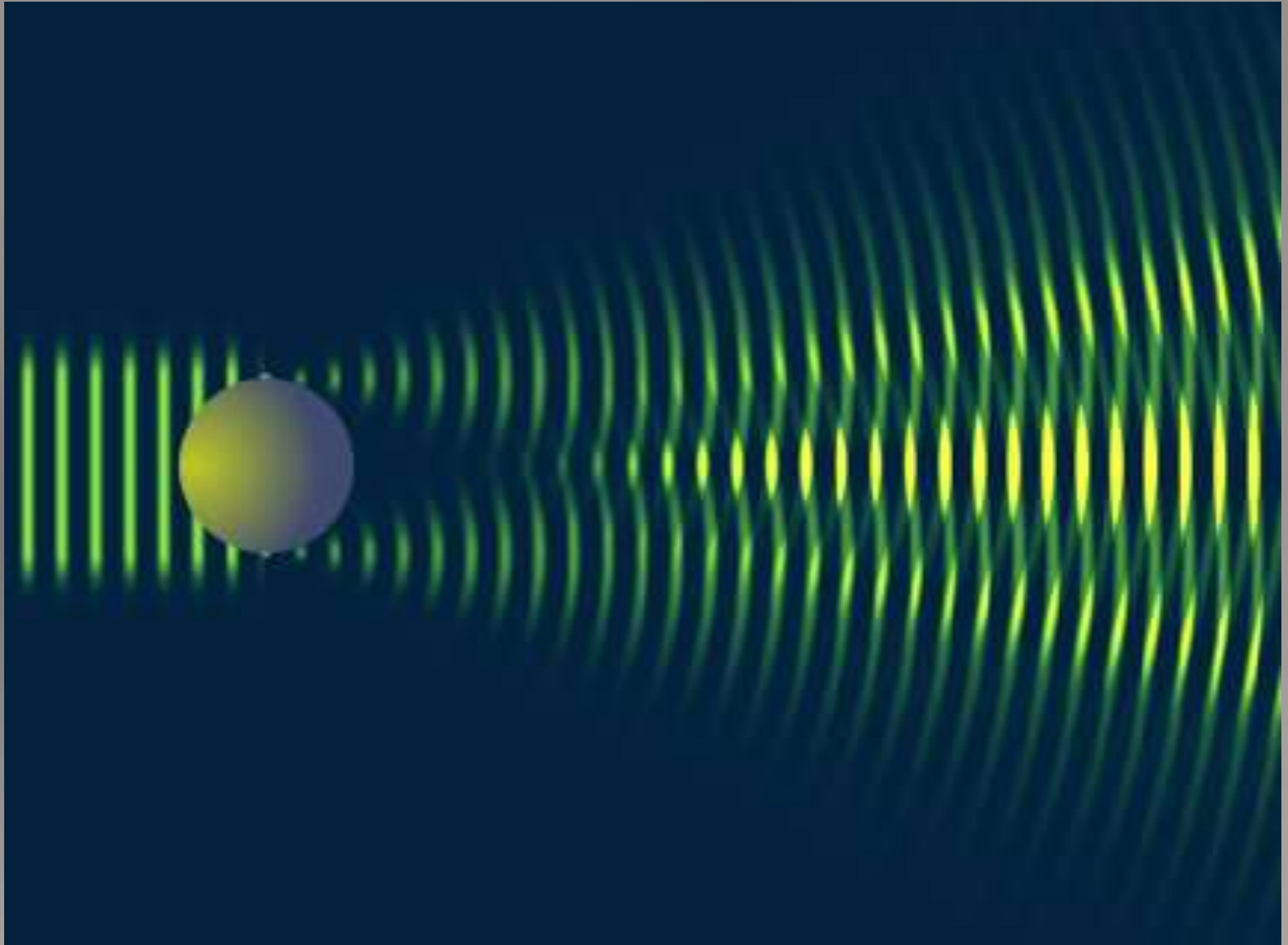
ohyb na drátu



Ohyb světla



Ohyb světla

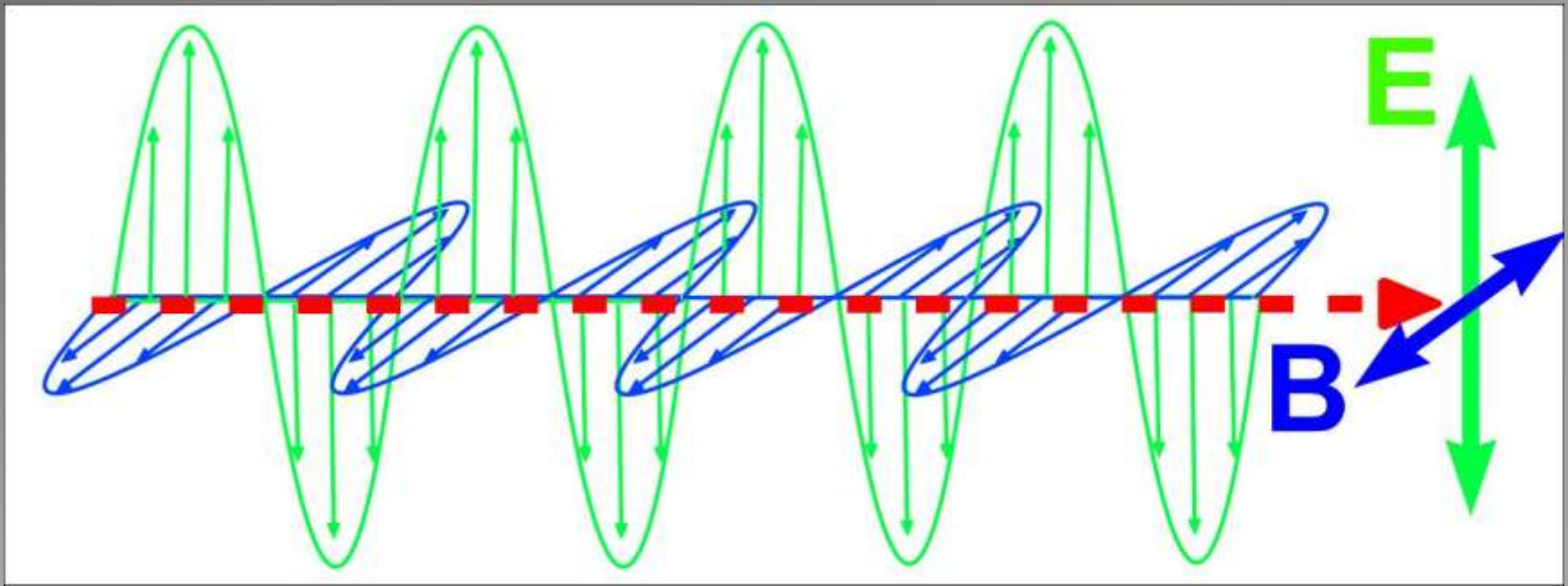




Polarizace světla

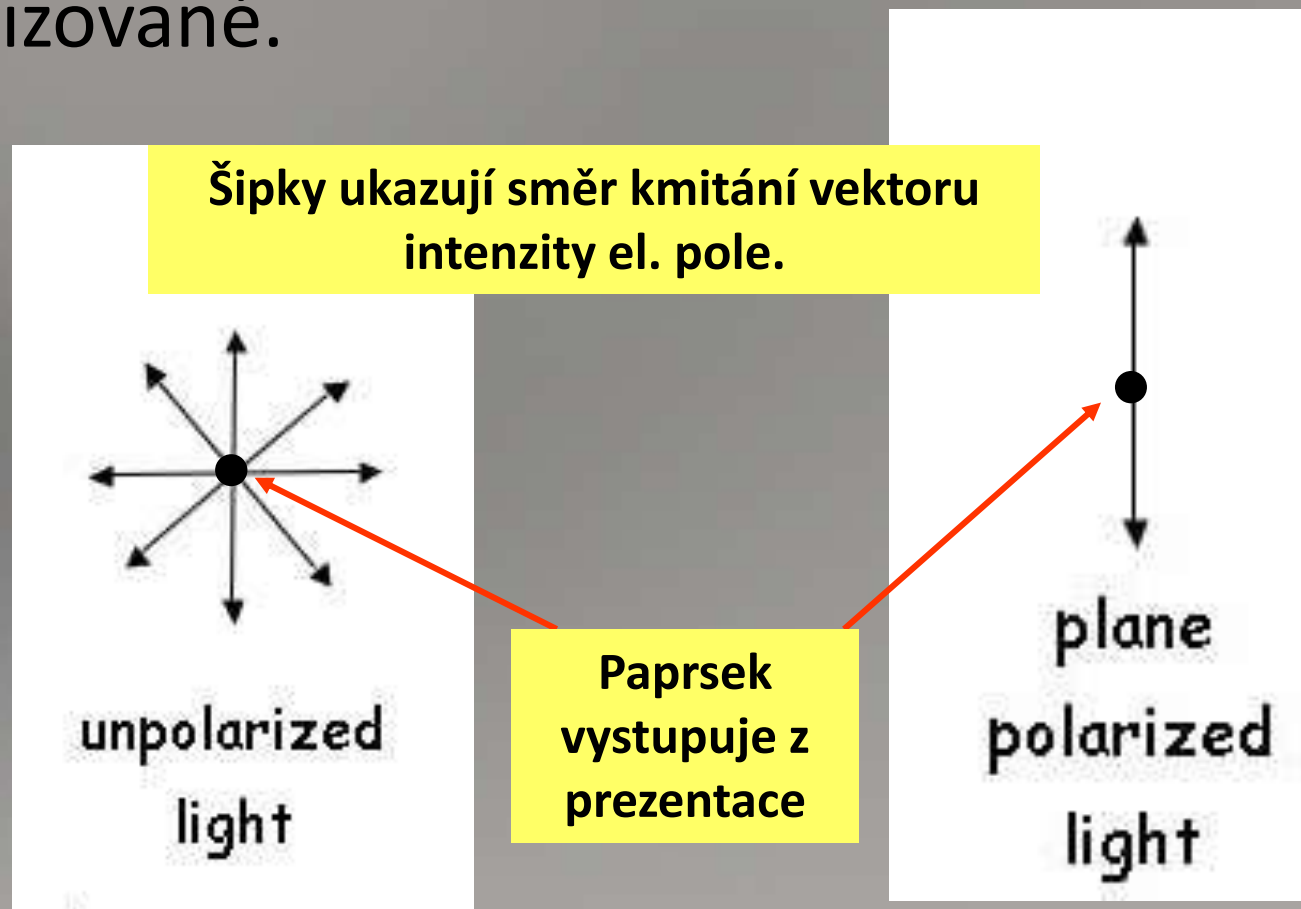
Polarizace světla

- Světlo je příčné elektromagnetické vlnění, a proto vektor intenzity elektrického pole ($\vec{E}$) kmitá kolmo ke směru jeho šíření.
- Pokud ještě navíc vektor E kmitá v jedné rovině, mluvíme o světle lineárně polarizovaném.



Nepolarizované světlo

- Pokud vektor E kmitá sice kolmo ke směru šíření, ale chaoticky do všech směrů, jedná se o světlo nepolarizované.

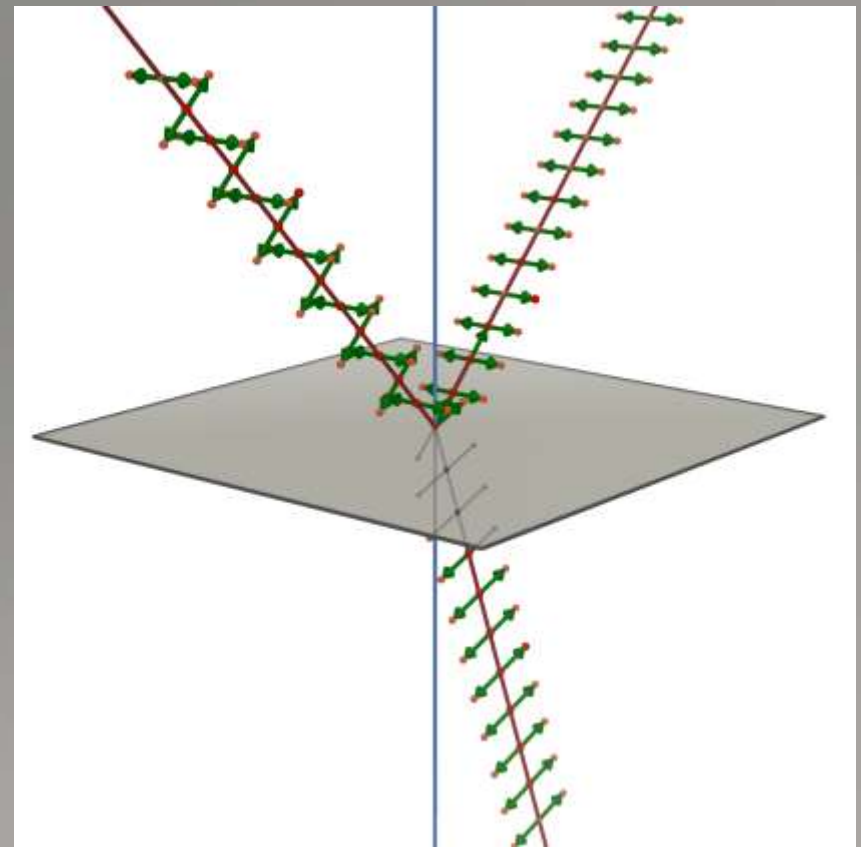


Polarizované světlo

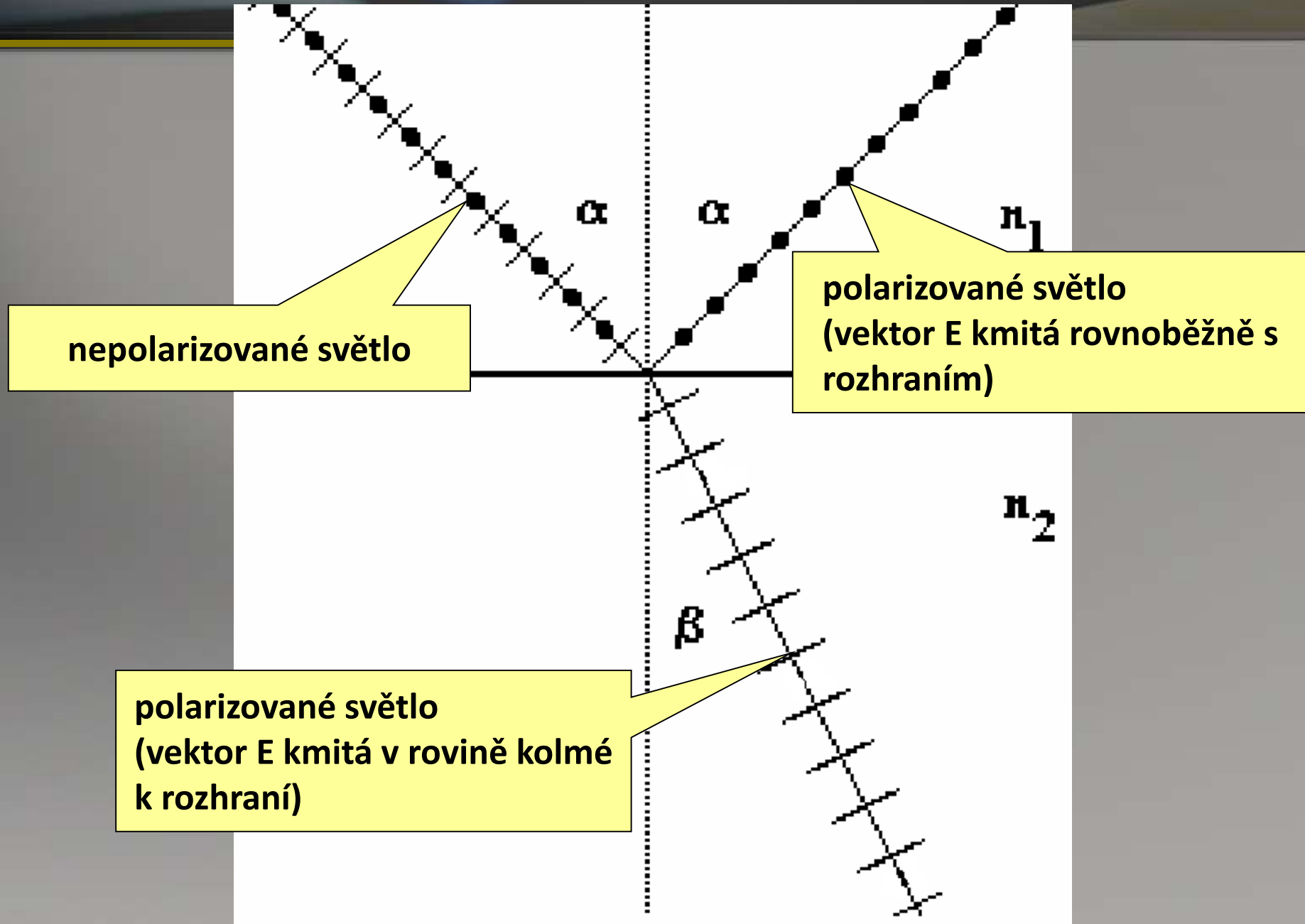
- Většina zdrojů (např. Slunce) vydává světlo nepolarizované.
- Lidské oko nedokáže světlo polarizované a nepolarizované od sebe odlišit.
- Z nepolarizovaného světla mohu vytvořit světlo polarizované procesem zvaným polarizace:
 - Odrazem a lomem
 - Dvojlomem
 - Absorpcí

Polarizace odrazem a lomem

- Dopadne-li paprsek nepolarizovaného světla na optické rozhraní, tak se rozdělí na paprsek odražený a lomený, které jsou již lineárně polarizovány.

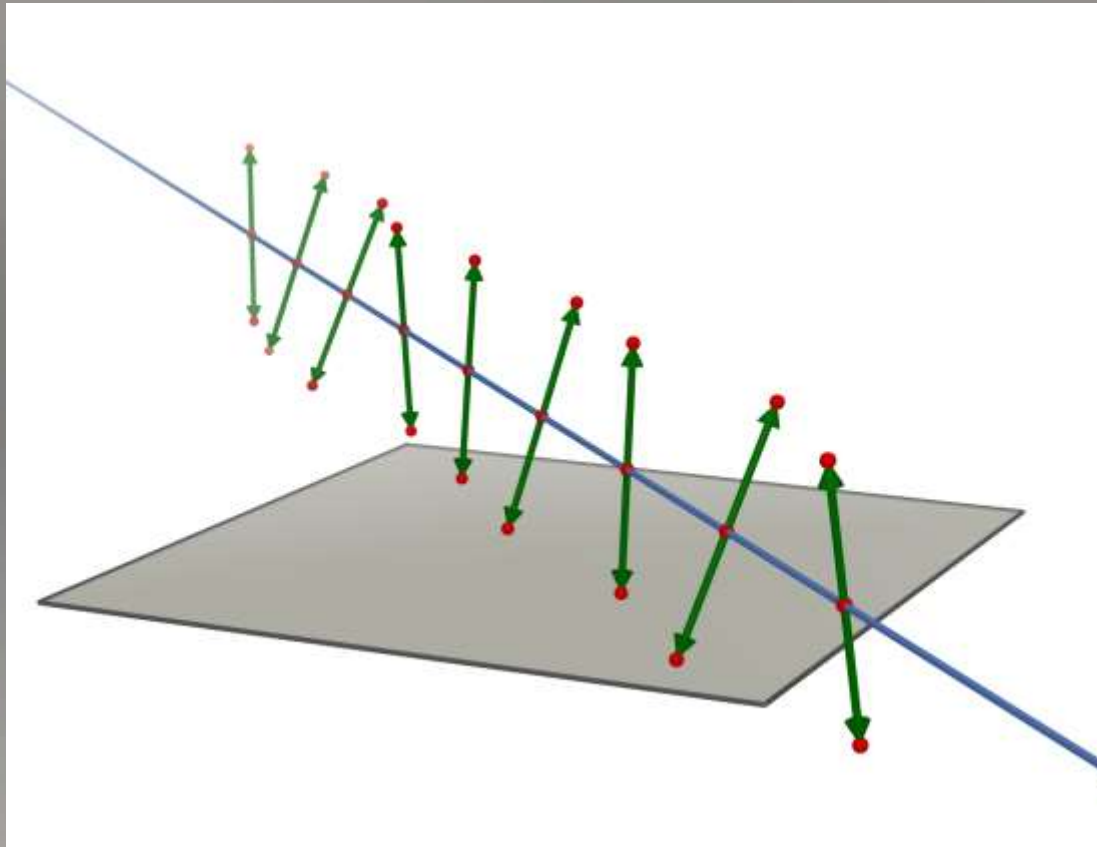


Polarizace odrazem a lomem



Polarizace odrazem a lomem

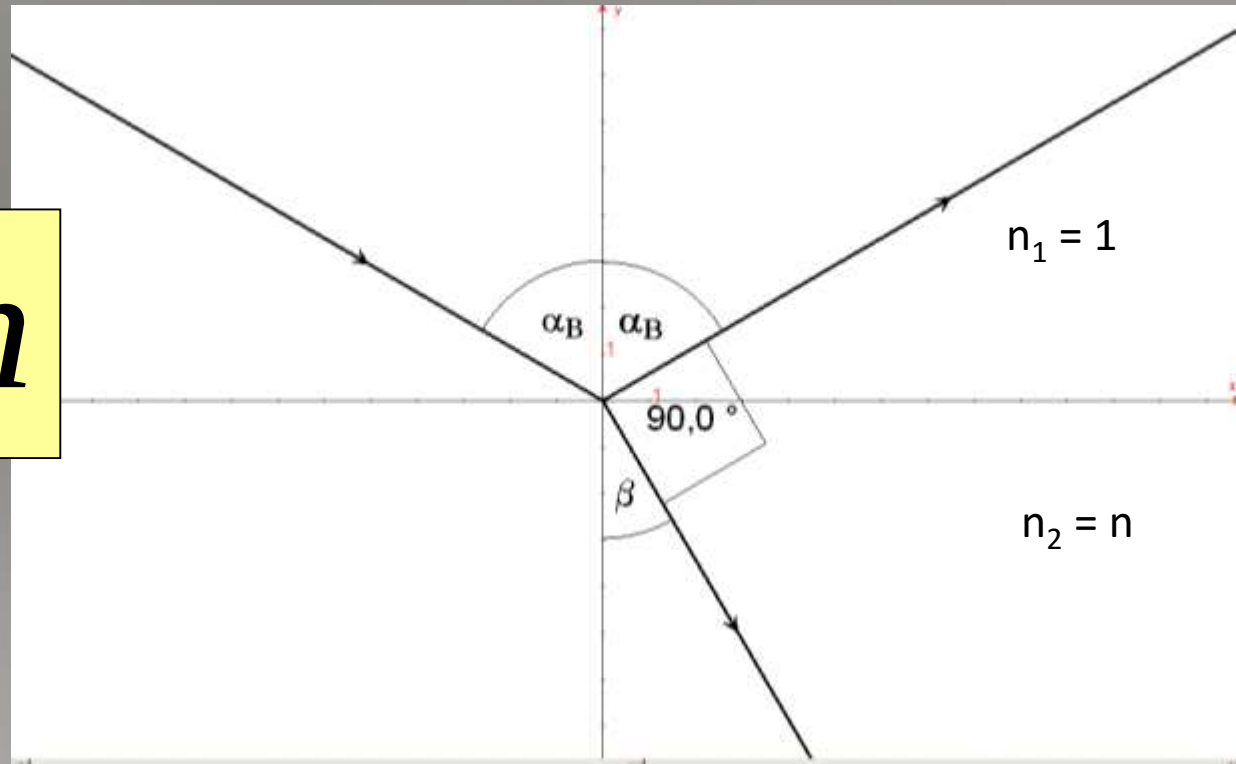
- Polarizace světla odrazem a lomem není příliš kvalitní a jejím výsledkem je pouze „částečně polarizované“ světlo.



Polarizace odrazem a lomem

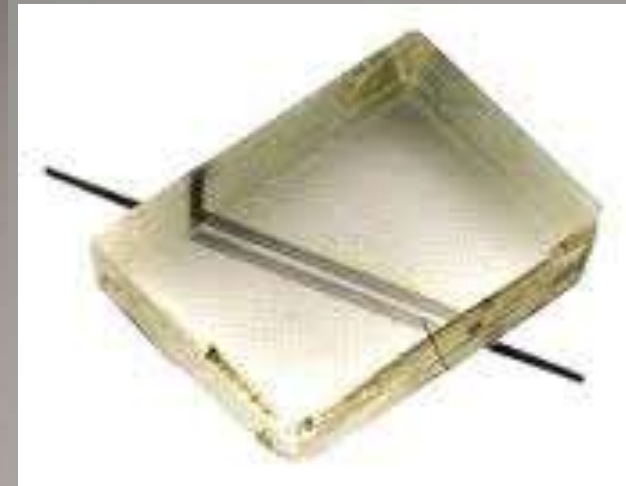
- Nejlepších výsledků při polarizaci dosáhneme, jestliže paprsek odražený a lomený svírají pravý úhel.
- Světlo pak musí dopadat pod tzv. Brewsterovým úhlem (α_B).

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n$$



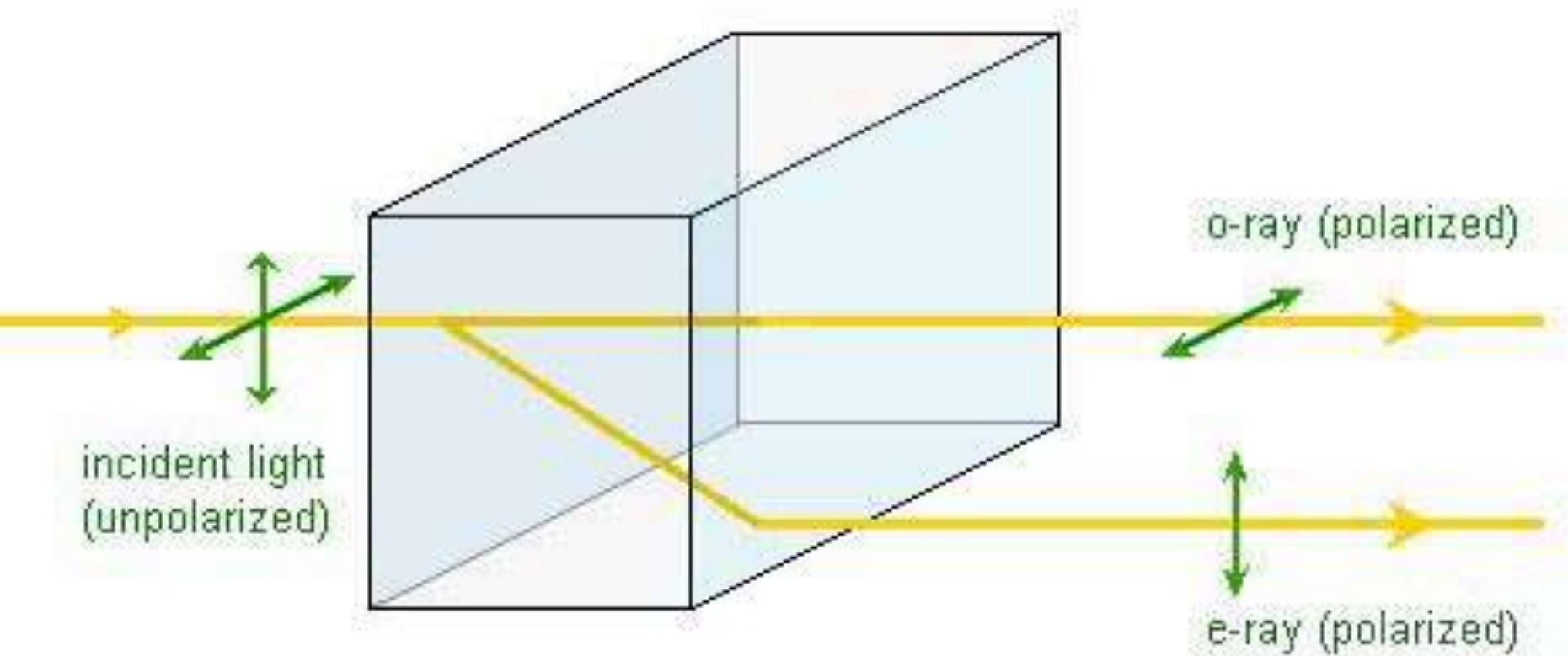
Polarizace dvojlomem

- Dopadá-li paprsek nepolarizovaného světla např. na neizotropní krystal islandského vápence, tak se rozdělí na paprsky dva.
 - na paprsek řádný, který splňuje zákon lomu
 - na paprsek mimořádný, který zákon lomu nesplňuje a prochází význačným směrem krystalu.

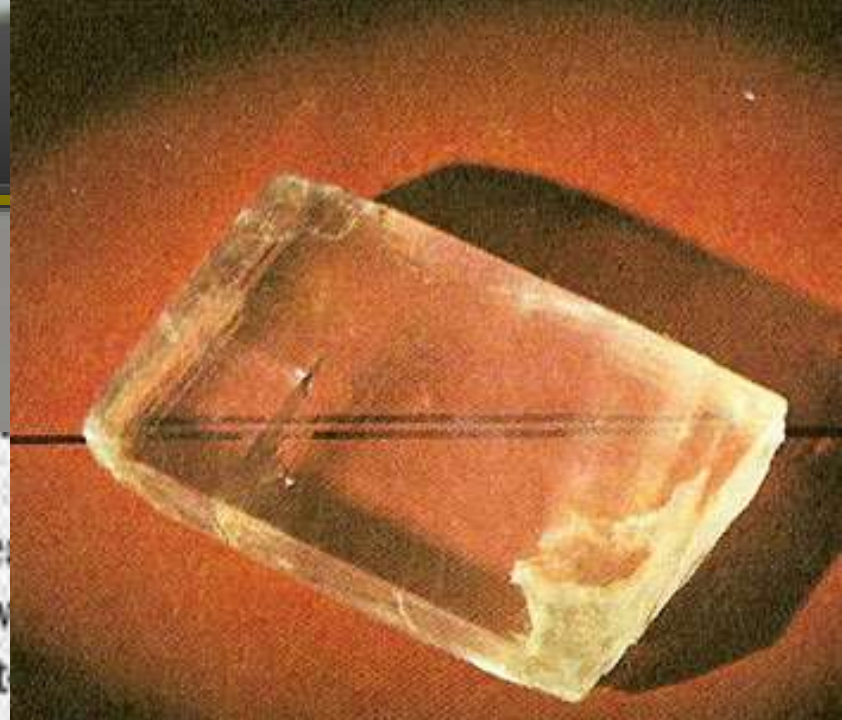


Dvojlom

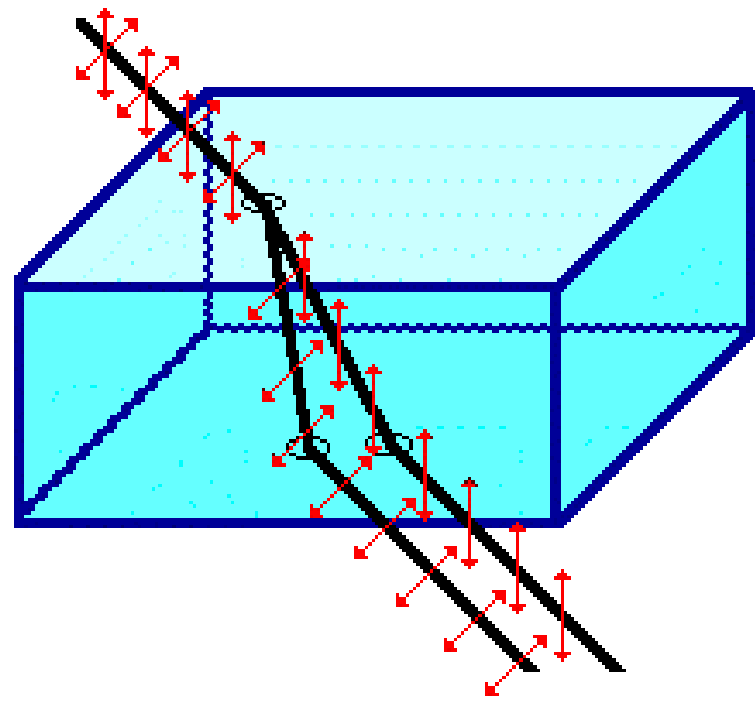
- Paprsek řádný a mimořádný jsou pak velmi dobře lineárně polarizovány ve dvou navzájem kolmých rovinách.



Dvojlom

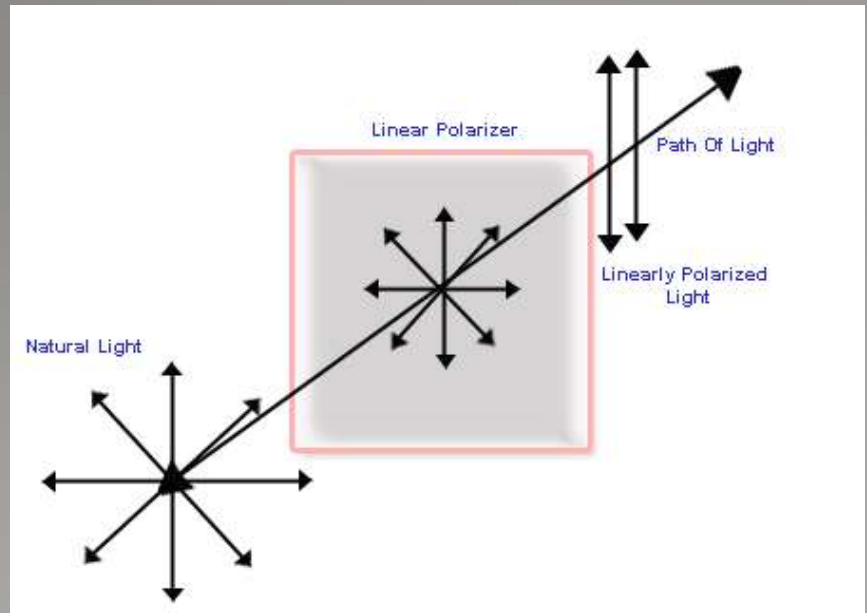


polishes be upon polish'd Looking-glass
upon Me perhaps better upon Pitch, Le
or Pare' as it must be rubb'd w
little to fill up its Scrat
wh it will become very parent and p
I or several instruments, it is necessar
pe the several instruments, it is
upon it. If a piece of this crystalline be
it will app every Letter of the Book seen
tion. And if an every Letter of the Book seen
dicularly, or in any by means of a double
of this Crystal, it becom by means of a double
by means of the same dou into it
beams are of the same Colour with
of Light, and seem equal to one another



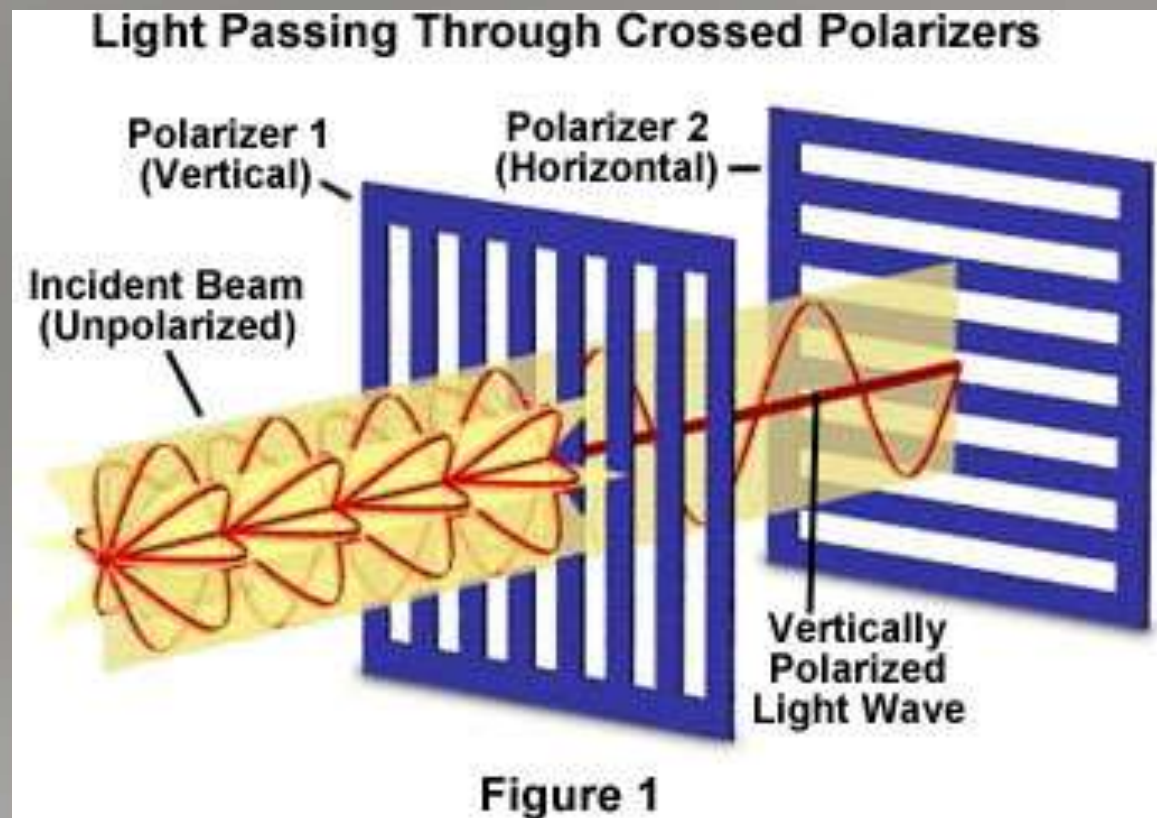
Absorpce

- Dvojloem pozorujeme i na směsi organických látek (tzv. herapatitu), která se nachází v polarizačních filtrech (polaroidech), z nichž vychází pouze lineárně polarizovaný paprsek mimořádný.
- Řádný paprsek byl pohlcen, jedná se o polarizaci absorpcí.



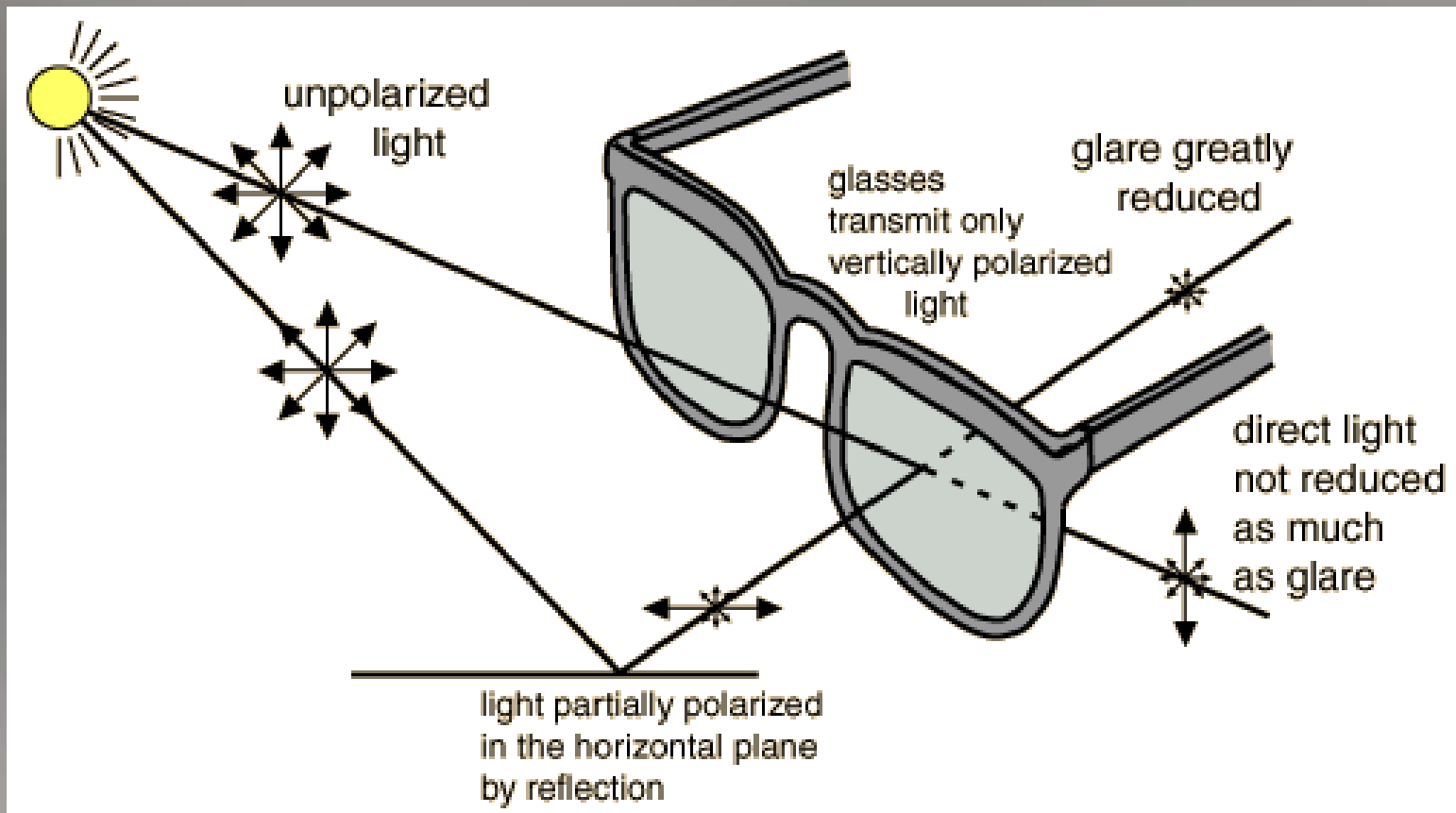
Polarizované světlo

- O tom, že z polarizačního filtru (polarizátoru) vychází opravdu lineárně polarizované světlo se přesvědčíme druhým filtrem, tzv. analyzátozem.



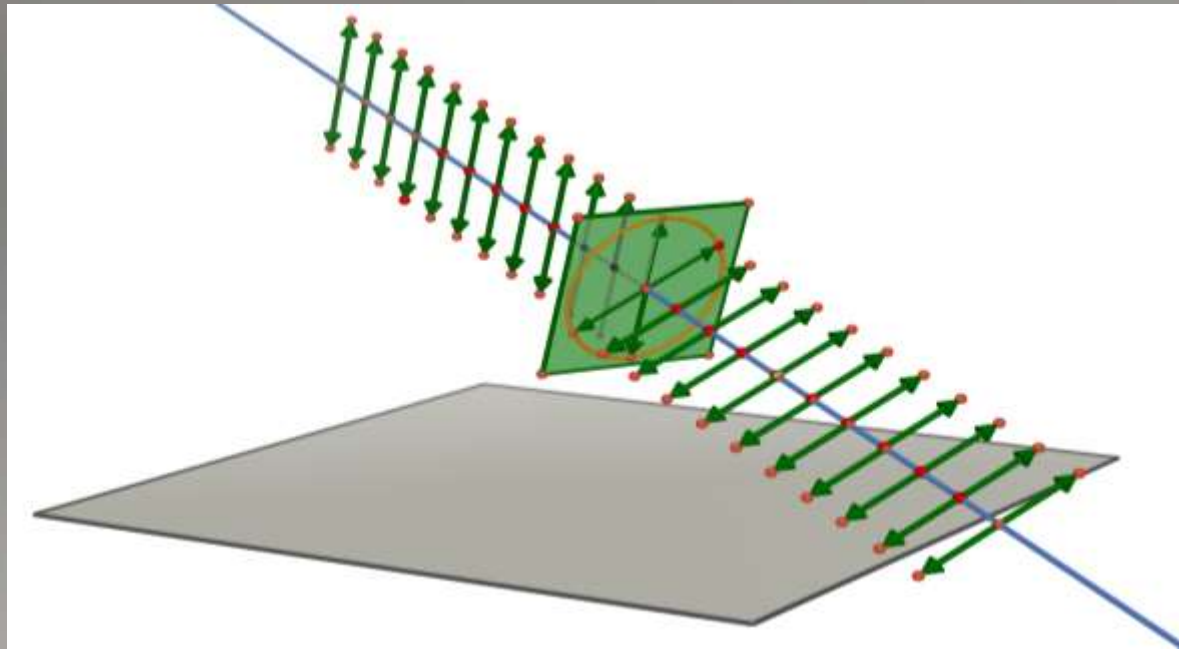
Využití

- Polarizační filtry pro brýle či objektivy fotoaparátů.
 - S polarizačními filtry se hladké plochy tolik nelesknou.



Využití

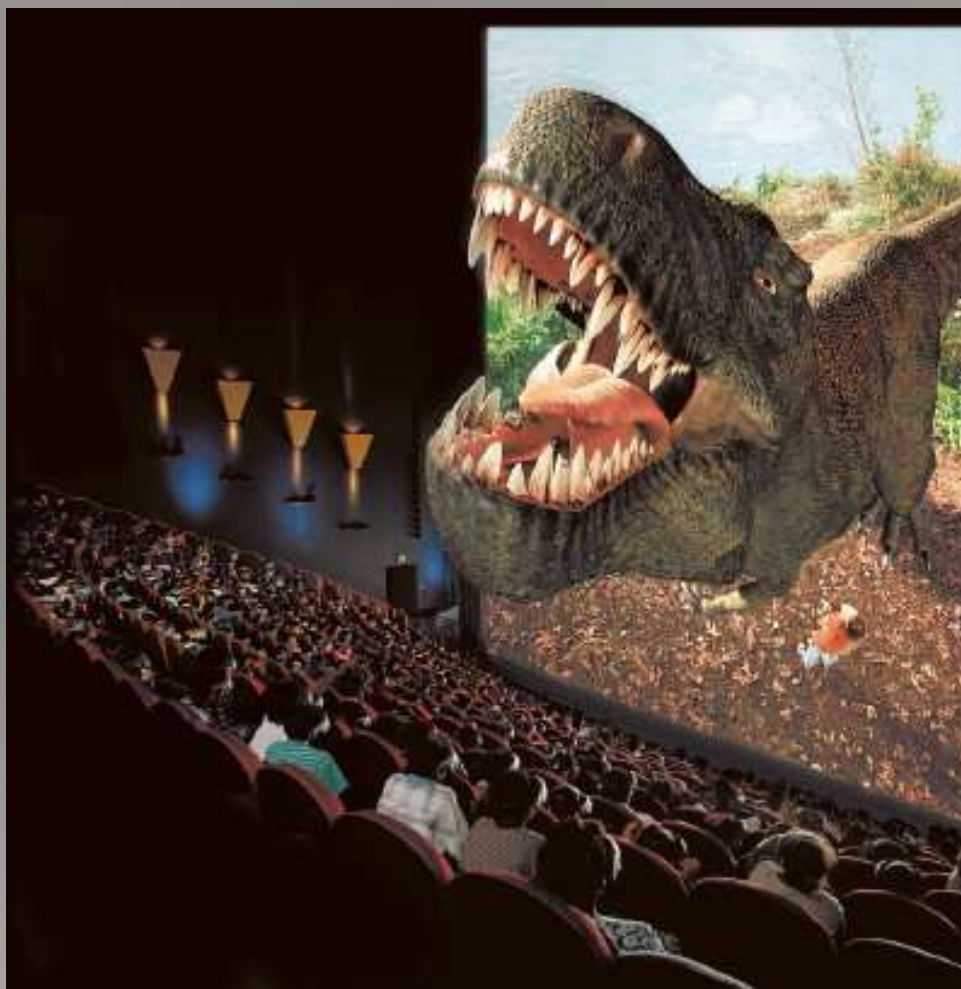
- Roztoky některých látek, např. glukózy, jsou opticky aktivní, tzn. stáčí rovinu, v níž kmitá vektor E polarizovaného světla.
- Z úhlu, který tyto roviny svírají, lze určit typ látky či koncentraci roztoku.



- 3D Kino
 - Synchronní projekce dvojice obrazů stereoskopicky nasnímaných dvěma kamerami nebo jednou speciální dvojitou kamerou, jež odpovídá pozorování scény oběma očima (3D film).
 - Speciální technologie, jejíž součástí jsou buď **polarizační**, nebo **elektronické závěrkové** brýle, umožní divákům vidět obraz náležející vjemu pravého oka jen pravým okem a levý obraz odpovídající vjemu levého oka jen levým okem.

3D kino

- Diváci tedy vidí scénu podobně, jako by se vlastníma očima dívali na skutečnost, tzn. prostorově (trojrozměrně).



Využití

- Necháme-li procházet polarizované světlo např. organickým sklem a pak přes analyzátor, vidíme barevné plochy, z nichž pak můžeme usuzovat mj. na mechanické napětí v materiálu (fotoelasticimetrie).

